

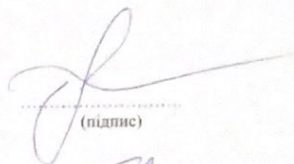
**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ
Факультет транспорту і будівництва
Кафедра логістичного управління та безпеки руху на транспорті**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної кваліфікаційної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня магістр**

галузі знань 27 – «Транспорт»
спеціальності 275 – «Транспортні технології (залізничний транспорт)»

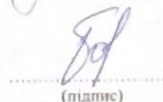
на тему: «Підвищення експлуатаційної готовності систем керування рухом поїздів на основі контролю функціональних параметрів»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ОПЗТ-21дм
Бандак Д.І.



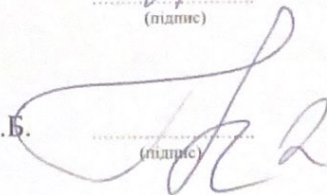
(підпис)

Керівник: доц. Баранов І.О.



(підпис)

Завідувач кафедри: проф. Чернецька-Білецька Н.Б.



(підпис)

ВСТУП

Актуальність теми. Залізничний транспорт відіграє вирішальне значення у забезпеченні економічної стабільності, національної безпеки і оборони України. На нього припадає близько 82% вантажних та 50% пасажирських перевезень. Ключове навантаження у забезпеченні безперервності та убезпеченні залізничних перевезень покладається на системи керування рухом поїздів (СКРП).

Саме від їх надійного функціонування залежить своєчасне виконання графіку руху поїздів, ефективність маневрової роботи та безаварійність транспортних процесів. У свою чергу це забезпечується, перш за все, достатнім рівнем експлуатаційної готовності систем, яка визначає ймовірність їх знаходження у справному стані в кожний момент часу протягом заданого інтервалу часу.

На даний час на магістральному залізничному транспорті України експлуатуються здебільшого морально і фізично застарілі релейно-контактні засоби СКРП, фізичний знос яких досягає 64%. Відповідно до звітної документації профільного департаменту автоматики і телекомунікацій АТ «Укрзалізниця» станом на 2021 рік обсяг модернізації пристроїв СКРП із використанням сучасної елементної бази та гнучкої логіки функціонування не перевищує 3%. Не в останню чергу це пов'язано з недостатнім розвитком методології забезпечення належної готовності та безпеки використання таких систем і пристроїв, що пов'язано, серед іншого, з відносно невеликим досвідом їх впровадження в Україні.

Мета і завдання дослідження. Мета - підвищення експлуатаційної готовності СКРП на основі контролю їх функціональних параметрів, що здійснюється шляхом вдосконалення методів і моделей функціональних випробувань. Завдання:

– аналіз відомих методів, моделей та засобів контролю функціональних параметрів СКРП, спрямованих на підвищення їх експлуатаційної готовності,

визначення серед них таких, що беруться за основу для подальшого вдосконалення;

– опрацювання відомих графоаналітичних методів моделювання технологічних об'єктів СКРП, що можуть використовуватися при контролі їх функціональних параметрів, та визначення на їх основі таких, що беруться за основу підвищення експлуатаційної готовності СКРП;

– розроблення моделі оцінки глибини контролю СКРП на розподілених технологічних об'єктах для оцінки показників експлуатаційної готовності СКРП та ефективності контролю їх функціональних параметрів;

– розроблення підходів до побудови графо-функціональної моделі технологічних об'єктів СКРП довільного призначення з метою верифікації їх статичних і динамічних параметрів під час функціональних випробувань, спрямованих на підвищення експлуатаційної готовності СКРП.

Об'єкт дослідження - процес забезпечення експлуатаційної готовності СКРП.

Предмет дослідження – показники експлуатаційної готовності СКРП, що досягаються шляхом контролю їх функціональних параметрів в процесі виробництва, експлуатації та ремонту.

Дослідницькі прийоми та методи. Вирішення поставлених завдань виконано на основі системного підходу. Методи математичної статистики використано при опрацюванні експлуатаційної надійності систем залізничної автоматики різного призначення та при обробленні результатів випробувань. Апарат теорії графів та матриць застосовано при розробленні графо-функціональних моделей об'єктів функціональних випробувань. Методи теорії надійності та функційної безпечності застосовані при обґрунтуванні різних способів випробувань при забезпеченні експлуатаційної готовності систем керування.

Наукова новизна отриманих результатів: розроблено і запропоновано:

– методичний підхід до визначення експлуатаційної готовності СКРП, що базується на використанні моделі оцінки глибини контролю при здійсненні їх функціональних випробувань, яка будується на відношеннях між об'єктами

керування та контролю, їх функціями, програмно-апаратними засобами та технологічними ситуаціями;

– спосіб відтворення технологічних об'єктів у засобах контролю функціональних параметрів СКРП на основі графо-функціональних моделей, що враховують як статичні, так і динамічні властивості об'єктів керування та контролю із використанням функціональних вершин.

Практичне значення отриманих результатів. Результати дослідження мають прикладний характер та спрямовані на підвищення показників експлуатаційної готовності, а також на зменшення ресурсоемності та підвищення ефективності контролю функціональних параметрів СКРП. Фактичне застосування результатів відбувається під час виробництва та експлуатації мікропроцесорних СКРП на об'єктах транспортної інфраструктури АТ «Укрзалізниця», та в освітньому процесі.

Апробація результатів дипломної кваліфікаційної роботи магістра та публікації. Відповідно до теми кваліфікаційної роботи опубліковані наукові публікації у фахових виданнях України, результати роботи докладалися на студентських науково-практичних конференціях кафедри ЛУБРТ СНУ ім. В.Даля (2021-2022р.р.).

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, 3 розділів, заключення, списку використаних джерел з 60 найменувань на 9 сторінок. Загальний об'єм кваліфікаційної роботи магістра складає 81 стор. Робота включає 17 рисунків та 4 таблиці по тексту.

1.КОНТРОЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ У КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ГОТОВНОСТІ

Запровадження в експлуатацію сучасних систем керування рухом поїздів вимагає контролю їх функціональних параметрів на всіх етапах до експлуатаційного життєвого циклу. Це пов'язано як з факторами безпеки їх використання, так і забезпеченням належної експлуатаційної готовності та виконання заданих показників призначення. Розділ присвячено аналізу тенденцій розвитку сучасних систем керування рухом поїздів, методів та підходів щодо контролю їх функціональних параметрів. На підставі аналізу формуються шляхи вирішення завдань, пов'язаних із підвищенням експлуатаційної готовності систем керування з огляду на ефективність виконаного контролю.

1.1 Стан діючих систем керування рухом поїздів та експлуатаційна надійність їх функціонування

Відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 р., яка була прийнята у травні 2018 р., передбачено подальше використання високотехнологічних та ергономічних засобів транспорту, принципів мультимодальності, супутникової навігації, інтелектуальних транспортних систем, інформаційних технологій, електронного документообігу, прискорення і забезпечення своєчасної доставки пасажирів та вантажів завдяки швидкісним видам транспорту та розвитку логістики, підвищення рівня екологічної безпеки, інвестиційної та іншої привабливості всіх видів транспорту [28].

Одними з ключових очікуваних результатів із реалізації зазначеної Транспортної стратегії в контексті засвоєння передових досягнень світового науково-технічного прогресу є [28]: – створення модернізованої високотехнологічної транспортної інфраструктури, включаючи розбудову мережі логістичних систем інноваційного типу для обслуговування пасажирів та обробки вантажів, формування інтелектуальних транспортних систем;

- впровадження інтелектуальних транспортних систем та систем управління рухом на наземному та водному транспорті (ERTMS, ITS, SST та LRIT, RIS, СМАРТ-тахографи);
- забезпечення створення умов для впровадження на залізницях високошвидкісного пасажирського руху (до 400 кілометрів на годину), експрес-доставки цінних вантажів (до 350 кілометрів на годину), прискореної доставки контейнерів (не менш як 200 кілометрів на годину).

Реалізація зазначених підходів та досягнення очікуваних результатів становить найбільш актуальну задачу саме для залізничного транспорту України, є провідною галуззю в дорожньо-транспортному комплексі країни, який забезпечує майже 82% вантажних і 50% пасажирських перевезень, здійснюваних всіма видами транспорту. Експлуатаційна мережа залізниць України складає майже 19,8 тис. км (без урахування окупованих територій, мережа яких на сьогодні не експлуатується), з яких понад 47,2% електрифіковано. За обсягами вантажних перевезень залізниці України займають четверте місце на Євразійському континенті, поступаючись лише залізницям Китаю, Росії та Індії. Вантажонапруженість українських залізниць (річний обсяг перевезень на 1 км) у 3 – 5 разів перевищує відповідний показник розвинених європейських країн [29, 30]. Досягнення результатів Транспортної стратегії для залізничного транспорту можливо лише в умовах комплексного переоснащення систем керування рухом поїздів (СКРП), що інтерпретуються технічними засобами залізничної автоматики.

Ключовим напрямом їх розвитку слід вважати подальшу інтеграцію та уніфікацію на базі сучасних систем промислової цифровізації [31 – 35].

Виходячи з діючих національних документів із розвитку залізничного транспорту, зокрема – Транспортної стратегії [28], галузевих програм і концепцій [13, 36 – 42], узагальнена структура напрямків розвитку залізничного транспорту, із урахуванням засобів СКРП, представляється у вигляді рисунка 1.1.



Рис.1.1. Основні напрямки розвитку залізничного транспорту України

Як вбачається з наведеної структури, важливими піднапрямками модернізації засобів СКРП є підвищення обсягів цифровізації систем, диверсифікація розробників систем для транспортних потреб, зменшення людського фактору впливу на процес перевезень та удосконалення техніки й технологій для розроблення, експлуатації та обслуговування відповідних систем. Наявна класифікація технічних засобів СКРП за функціональним призначенням (рисунок 1.2) визначає диференціацію принципів і підходів щодо реалізації наведених у зазначеній структурі (рисунок 1.1) заходів щодо технічного й технологічного розвитку СКРП [13, 43].

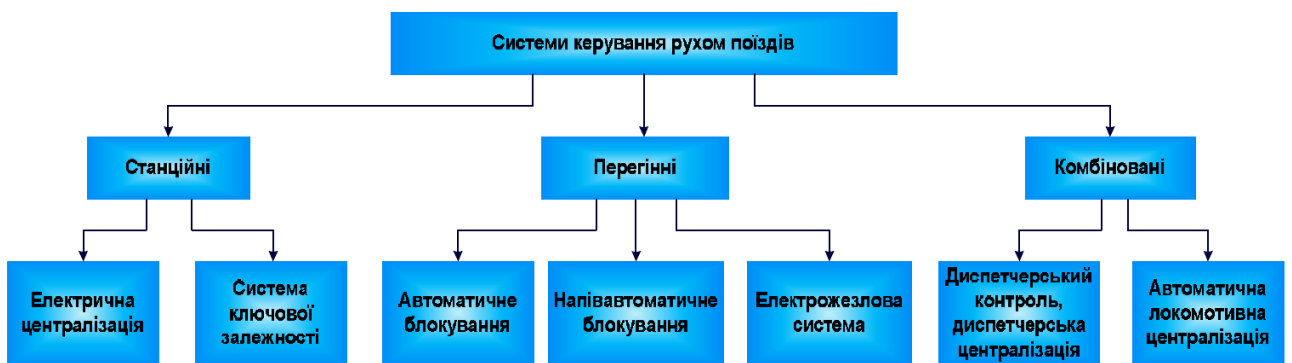


Рис.1.2. Узагальнена класифікація СКРП за функціональними ознаками

Зазначені показники функціонального призначення технічних засобів СКРП залежать від підгалузі їх використання (магістральний, промисловий

залізничний транспорт, метрополітен) та встановлюються, головним чином, відповідними нормативно-технічними документами – Правилами технічної експлуатації, Інструкціями з сигналізації, Інструкціями з руху поїздів і маневрової роботи, погодженими з ними типовими проектними рішеннями [43 – 51]. Місцеві умови експлуатації, технічного обслуговування та ремонту засобів СКРП визначаються додатковими нормативними документами, зокрема регламентами та інструкціями виробників продукції [52 – 56]. Сучасний стан технічних засобів СКРП, технічної діагностики та телекомунікацій, що наразі знаходяться в експлуатації на магістральному залізничному транспорті України, визначається значним ступенем зношеності основних фондів (рисунок 1.3) [57 – 59].

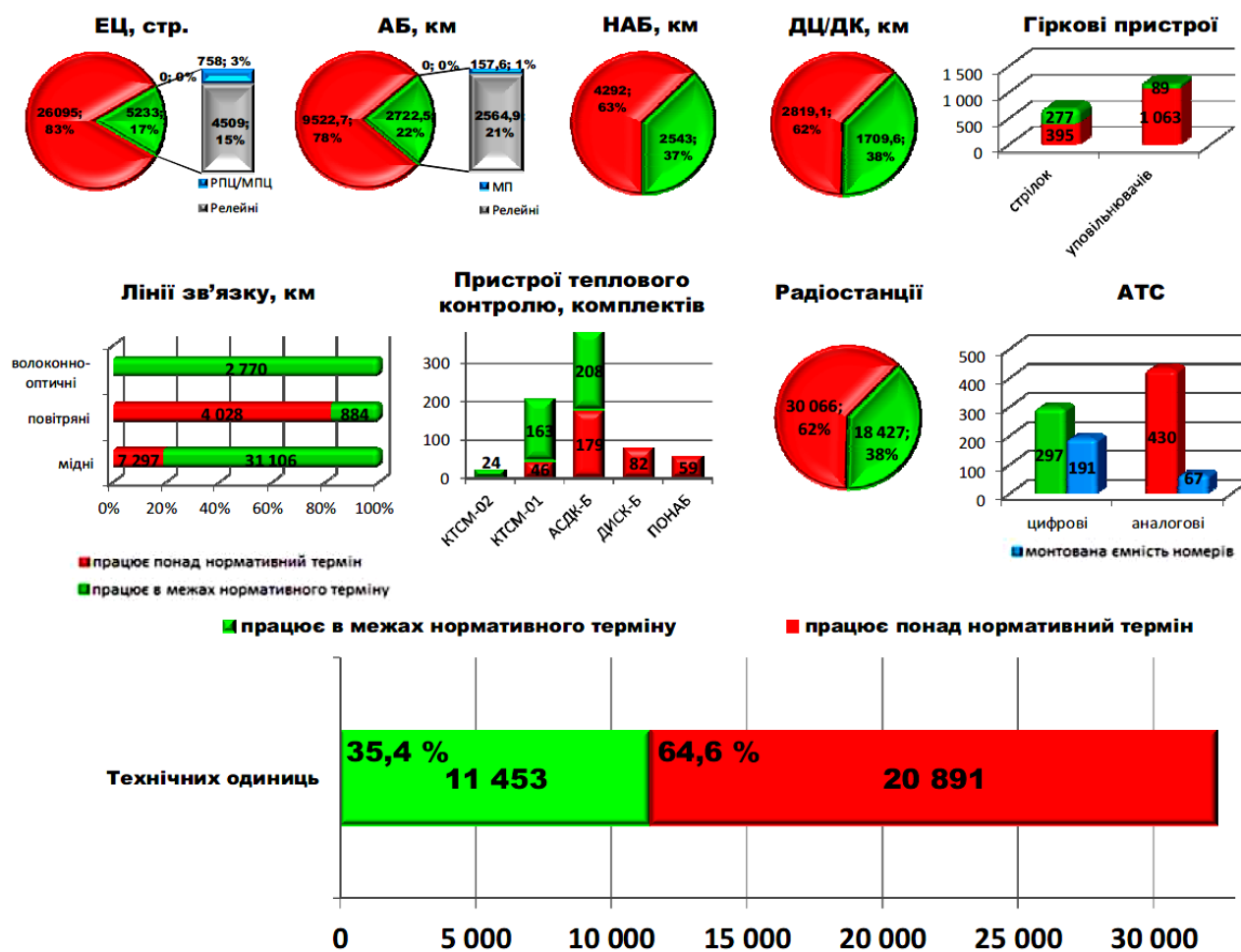


Рис.1.3. Показники фізичного зносу технічних засобів автоматики, діагностики та телекомунікацій на магістральному залізничному транспорті

Як вбачається з наведених діаграм, для різних пристроїв СКРП за функціональним призначенням (рисунок 1.3) поточний їх фізичний знос складає від 62% до 83%, причому часткової модернізації шляхом запровадження сучасних систем, побудованих на мікропроцесорній елементній базі, зазнали лише пристрої електричної централізації (ЕЦ) та автоматичного блокування (АБ). Проте обсяги впровадження сучасних систем ЕЦ і АБ при значному фізичному зносі основних фондів на сьогоднішній день залишаються край низькими – 3% і 1% відповідно.

У нормативних вимірюваннях кількості СКРП у технічних одиницях [60] відповідний обсяг засобів, що функціонують у понаднормативний термін, складає більше 64%. В таких умовах спостерігається доволі низький рівень експлуатаційної надійності функціонування пристроїв СКРП на залізницях України, зокрема експлуатаційної готовності, як невід’ємної її складової (рисунок 1.4). Остання визначається, як здатність системи функціонувати належним чином у даний момент часу протягом заданого інтервалу часу [57 – 60]. Зазначений вплив експлуатаційної надійності СКРП на експлуатаційні показники роботи залізниць України наочно демонструється діаграмою на рисунку 1.4.

Наведений коефіцієнт кореляції між кількістю відмов V_i пристроїв СКРП та затримок руху поїздів Z_i , визначений на рівні $B3 r_{\Sigma} = 0,91$ відповідно до методики, що опублікована в праці [39] із використанням прикладного пакета MS Excel

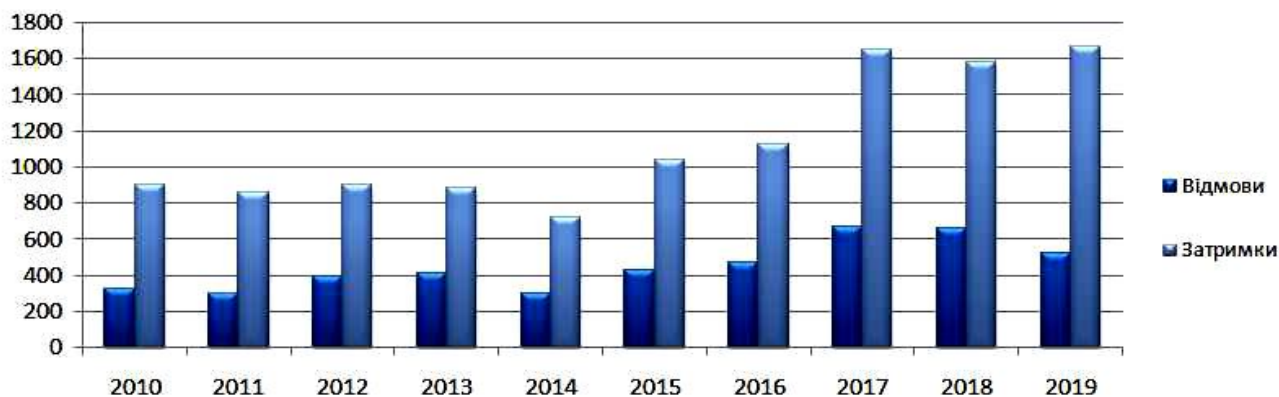


Рис.1.4. Діаграма відповідності кількості відмов і затримок руху поїздів на залізницях України по рокам

Такий доволі значний коефіцієнт кореляції свідчить про глибокий причинно-наслідковий зв'язок між відмовами засобів СКРП та безперебійністю процесів перевезень. Це вказує на ключове значення високої експлуатаційної готовності СКРП на експлуатаційні показники роботи залізниць. Із наведених табличних даних випливає тенденція до зниження експлуатаційної готовності СКРП, що виявляється у збільшенні кількості затримок руху поїздів через відмови пристроїв залізничної автоматики, не дивлячись на фактичні зменшення обсягів перевезень. Об'єктивно це свідчить про збільшення негативного впливу фактичного зносу технічних засобів на експлуатаційні показники діяльності залізниць [60].

Як вбачається з наведених даних, ключовими причинами відмов пристроїв СКРП є порушення технології виконання робіт з технічного обслуговування (52,38%) та фізичне старіння приладів (20,25%). Не дивлячись на те, що фізичний знос пристроїв СКРП знаходиться на другому місці серед причин їх відмов (що, однак, саме по собі є наочним показником), спостерігається тенденція до поступового вирівнювання впливу зазначених перших двох причин – зменшення впливу людського чинника та збільшення впливу чинника технічного (рисунок 1.5) [6]. Така тенденція цілком узгоджується із зоною відставання у розвитку техніки та інтелектуально-технічних можливостей людини, що була опрацьована в роботах [12-14]. Вона пояснюється прискореним розвитком та розширенням можливостей сучасної техніки і технологій.

Не зважаючи на тенденції в світовому техніко-технологічному прогресі щодо зменшення впливу технічного чинника на користь людського в аспекті експлуатаційної надійності технічних засобів СКРП, що експлуатуються на залізницях України, наразі не спостерігається масової модернізації технічних засобів при збереженні тенденції до підвищення можливостей технічного персоналу, що і підтверджується зіставленням графіків на рисунках 1.5 та 1.6. Отже, за відсутності подальшої комплексної модернізації пристроїв залізничної автоматики очевидним стає поступове зрівняння впливу людського і технічного чинників з подальшим перевищенням впливу другого порівняно із першим.



Рис.1.5. Графіки зміни впливу двох основних факторів на експлуатаційну надійність пристроїв СКРП

Схематично зона відставання зображується на рисунку 1.6 у вигляді графіків розвитку можливостей людини та розвитку техніки [56, 60].

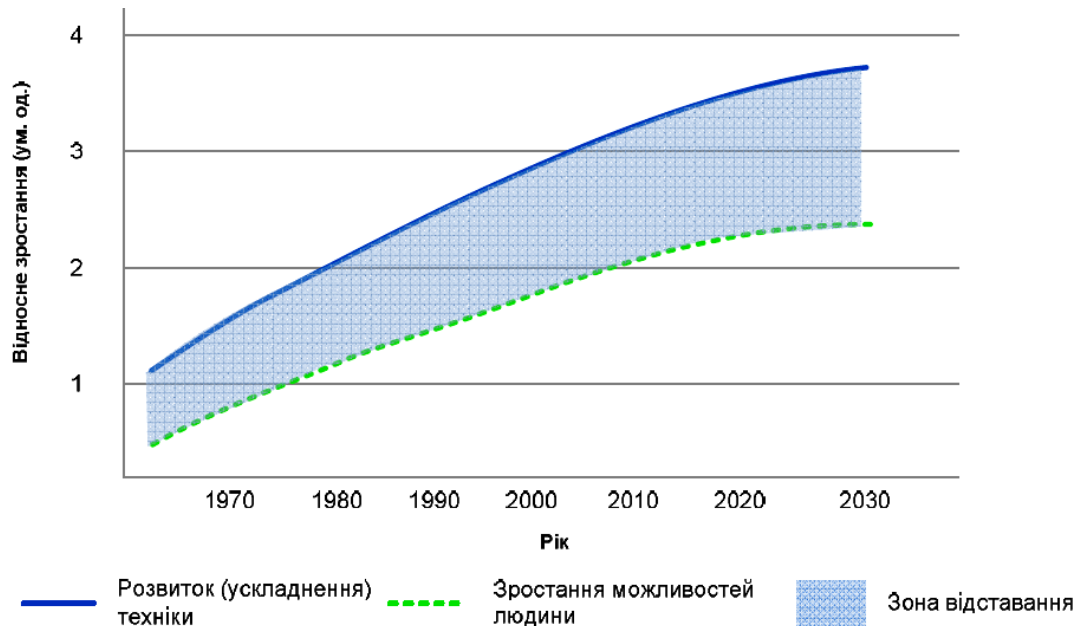


Рис.1.6. Співвідношення розвитку техніки та можливостей людини

Для прогнозування подальшого впливу зазначених двох чинників при збереженні наведеної на рисунку 1.8 тенденції, зокрема, з метою встановлення

періоду, коли вплив людини і техніки зрівняється, доцільно скористатися методами екстраполяції наявних у таблиці 1.3 статистичних даних. Екстраполяція – метод наукового пізнання, за якого відбувається поширення висновків, показників, тенденцій та закономірностей одних явищ процесів, а також стадій та етапів цілісної економічної системи на інші майбутні очікувані явища і процеси, на більш розвинуті стадії та етапи цієї системи на основі обґрунтованих та чинних законів і їх внутрішніх суперечностей. У математиці й статистиці екстраполяція означає продовження динамічного ряду даних за певними формулами, продовження кривої, що характеризувала попередні зміни технічних або економічних показників. Екстраполяція застосовується для аналізу та прогнозу розвитку окремих елементів технологічної системи, її підсистем, технічних тенденцій загалом за умови їх стабільного розвитку. Найдостовірнішою є екстраполяція щодо розвитку технологічного способу виробництва (продуктивних сил і техніко-економічних відносин), а в його межах – щодо перспектив розвитку техніки і технології [60].

Ефективними методами екстраполяції для прогнозування подій на середньостроковий період є методи регресії, використання яких підтримуються багатьма прикладними математичними та офісними програмними середовищами, зокрема, середовищем MS Excel [12].

Для цього виконано квадратичну апроксимацію наданих статистичних даних із експлуатаційної надійності пристроїв СКРП використанням методу найменших квадратів. Прогнозування статистики відмов до 2030 року обумовлено державними планами розвитку, що зазначені в Транспортній стратегії України [28]. Точність апроксимації визначено на підставі розрахунку коефіцієнту детермінації R^2 . З результатів його розрахунку (рисунок 1.9) випливає, що для обох графіків (впливу людського і технічного чинника) цей параметр перевищує значення 0,95, що свідчить про високу точність прогнозу. Для покрокової оцінки точності прогнозу виконане згладжування статистичних даних за методом ковзного середнього.

1.2 Особливості впровадження сучасних систем керування рухом поїздів на залізницях України

Впровадження мікроелектронних систем залізничної автоматики на світових залізницях розпочато з 70-х років минулого століття, головним чином – у контексті мікропроцесорних (МПЦ) або релейно-процесорних (РПЦ) систем ЕЦ. Пріоритетність вибору саме систем ЕЦ порівняно з іншими засобами СКРП пояснюється тим, що переважну кількість пристроїв СКРП на залізницях України (за технічною оснащеністю) становлять системи електричної централізації стрілокта сигналів (ЕЦ), відповідно до чого основний внесок у процес модернізації СКРП має припадати на станційні системи автоматики (рисунок 1.7) [56,57].

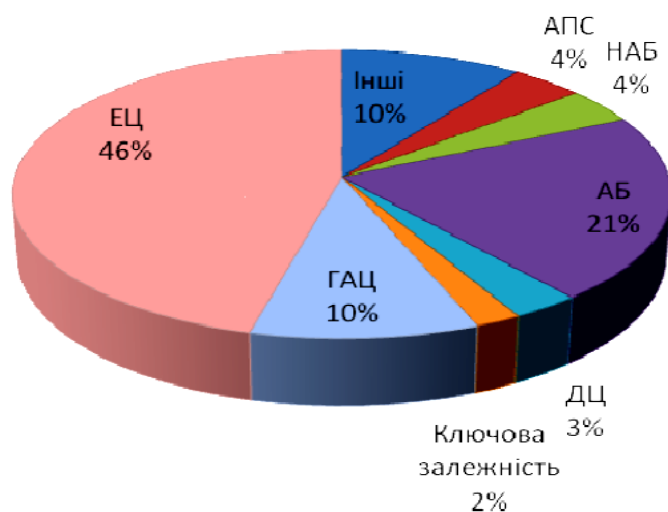


Рис.1.7. Внесок пристроїв СКРП в загальну технічну оснащеність

Найбільша інтенсивність запровадження СКРП новітніх поколінь відбувалася в США, Німеччині, Японії, Великій Британії, Швеції та Австрії [3 – 8]. Наразі спостерігається тенденція щодо першочергової прогресивної модернізації зазначених систем у даних країнах із використанням передових методів та засобів цифровізації [5-8].

В Україні процес запровадження мікропроцесорних СКРП розпочався в середині 90-х із реалізації систем РПЦ на промисловому залізничному транспорті [5, 9, 4 – 7]. У подальшому розвиток СКРП на промисловому

транспорті визначався переважно впровадженням систем МПЦ, мікропроцесорних систем диспетчерського контролю (МПДК), диспетчерської централізації (МПДЦ) та напівавтоматичного блокування (МНАБ) [5, 8 – 10].

Відповідно до планів профільного департаменту автоматики і телекомунікацій (ЦШ) АТ «Укрзалізниця» у модернізацію діючих пристроїв СКРП, у тому числі, їх переоснащення на мікроелектронній елементній базі, на період з 2019 по 2025 роки передбачені цільові інвестиції сумарним обсягом 18 124 млн. грн. Одне з останніх досліджень, в якому виконано інтерпретацію світових досягнень Industry-4.0 в сфері залізничного транспорту на залізниці України, опубліковано в праці [10].

Сучасні цифрові інформаційно-керуючі системи, виходячи з результатів дослідження, повинні відповідати таким вимогам:

- автоматизація наскрізних комплексних інформаційних технологій, що повністю підтримують бізнес-процеси галузі;
- орієнтування на найбільш передові програмно-технічні засоби і сучасні мережі передачі даних;
- максимальне усунення «людського фактора» за рахунок автоматичного введення даних;
- застосування засобів аналітичної обробки інформації для підтримки прийняття рішень;
- побудова на базі оптимізаційних та імітаційних моделей. Такі вимоги цілком узгоджуються із світовими тенденціями, зокрема, очікуваннями, що відображені на рисунках. При цьому зазначено, що попередній підхід до реалізації мікропроцесорних засобів СКРП базований на застарілій технології реалізації технологічних функцій та взаємодії з персоналом, який був характерним для старих релейно-контактних систем. Передбачувана в дослідженні інтеграція та уніфікація систем СКРП різного призначення на першому етапі комплексної цифровізації зображена на рисунку 1.8. [17, 18].

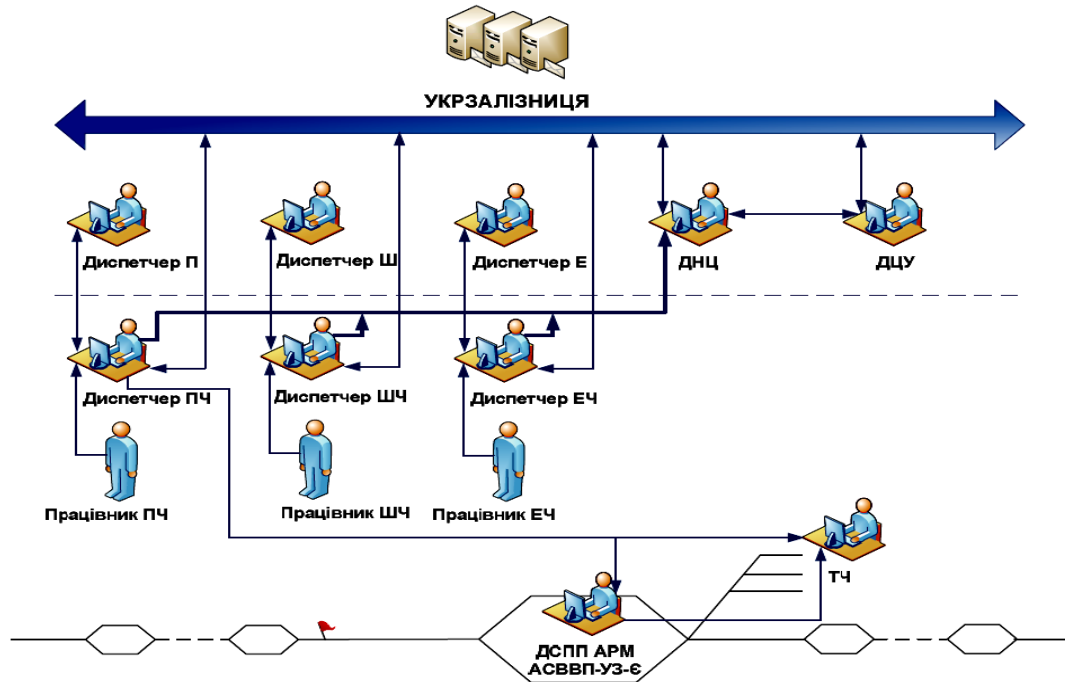


Рис.1.8. Приклад технології інформаційної взаємодії автоматизованих систем залізничної інфраструктури

Основна сутність наведеного принципу полягає в інтеграції інтелектуальних можливостей і баз даних в єдину платформу на базі хмарних технологій та IoT. Реалізація такого підходу обов'язково передбачає наявність незалежної інтелектуально-аналітичної бази даних, що охоплює всі наявні робочі станції. В більш загальному випадку така технологія охоплює всі інформаційно-керуючі вузли СКРП певного масштабу [11].

Розвиток систем залізничної автоматики із використанням мікропроцесорної цифрової бази, особливо, із застосуванням сучасних технологій Industry-4.0, вимагає контролю функціональних параметрів (верифікації) програмно-апаратних засобів СКРП на усіх етапах життєвого циклу. Тільки в умовах достатньої верифікованості забезпечується функціонування та забезпечуються необхідні показники призначення експлуатаційної готовності системи [14, 16, 19, 24]. Таким чином, невід'ємною складовою розвитку цифрових систем СКРП є зростання їх експлуатаційної готовності, що базується відповідному становленню та вдосконаленню методів, моделей та засобів технічного контролю їх архітектурних та функціональних параметрів.

1.3 Аналіз методів та моделей контролю функціональних параметрів систем керування рухом поїздів

Задачі контролю функціональних параметрів СКРП, що встановлює та визначає відповідність їх побудови та функціонування заданим вимогам (ПТЕ, типовим проектним рішенням, регламентам тощо), були актуальними на всіх етапах становлення та розвитку відповідних систем [12 – 19, 24, 11 – 16]. З точки зору експлуатаційної готовності відповідність СКРП зазначеним параметрам зводиться до забезпечення її основного показника – коефіцієнта готовності K_2 , який визначається як імовірність того, що об'єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено. Узагальненому випадку цей коефіцієнт підраховується як параметр, що визначається відношенням часу справної роботи $T_{спр}$ до суми часів справної роботи і вимушених простоїв $T_{пр}$ об'єкта, взятих за один і той же календарний термін [60].

З теорії надійності відомо, що для нерезервованих технічних засобів параметр $T_{спр}$ не залежить від техніки та методології реалізації контролю функціональних параметрів, а для резервованих – залежить тільки від періодичності контролю, і не залежить від інших його показників (зокрема, глибини контролю, його тривалості тощо) [3, 4]. У той же час як відповідно до класичної теорії, так і ряду прикладних досліджень середній час відновлення T_B для всіх систем прямо залежить від глибини контролю, що визначається середньою кількістю складових СКРП (блоків, модулів, компонентів тощо) з точністю до яких аналізується правильність функціонування, працездатність, а отже – здійснюється локалізація дефекту, відмови або помилки СКРП під час верифікації [3, 4]. Таким чином, підвищення експлуатаційної готовності СКРП на основі контролю функціональних параметрів здійснюється за рахунок зменшення часу T_B при збільшенні глибини контролю, у результаті чого відповідно до формули (1.5) підвищується коефіцієнт готовності K_2 . Це пояснюється скороченням часових ресурсів на здійснення верифікаційних

процедур для системи в комплексі порівняно із технічним контролем окремих її складових, а також своєчасністю виявлення дефектів (передвідмовних станів, помилок), що сприяє підвищенню інтенсивності відновлення систем [16 – 17].

Для релейно-контактних СКРП основні заходи із контролю функціональних параметрів зводяться до перевірки залежностей на об'єктах впровадження й експлуатації (для систем у комплексі) або до випробувань елементної бази в заводських умовах чи умовах ремонтно-технологічних діляниць (РТД) [13, 15 – 18].

Методи та засоби, що використовуються для контролю функціональних параметрів релейно-контактних СКРП, є неприйнятними або малопрійнятними для їх мікропроцесорних аналогів через суттєві відмінності в елементній базі та техніці забезпечення виконання покладених функцій [13 – 19, 19, 20].

Для більш сучасних цифрових систем СКРП, що відповідають тенденціям Industry-4.0, ще в більшому ступені є неприйнятними методи та засоби верифікації, характерні для релейно-контактних систем, проте повністю або частково є реалізованими відповідні підходи, сформовані для мікропроцесорних технічних засобів. Повнота відповідності при цьому визначається ступенем взаємної інтеграції або уніфікації СКРП із суміжними системами [24, 25].

Питанням контролю функціональних параметрів мікроелектронних систем та засобів керування технологічними процесами на залізничному транспорті та в інших відповідальних сферах займалися багато вітчизняних та закордонних вчених. Серед науковців України та країн близького зарубіжжя вагомий внесок у розвиток методології контролю функціональних параметрів та забезпечення експлуатаційної надійності (зокрема готовності) СКРП зробили Сапожников В.В., Костромінов О.М., Гавзов В.С., Наседкін О.О., Лисенков В.М., Горелік А.В., Кравцов В.М., Мойсеєнко В.І., Бойнік А.Б., Грицук І.В., Бабаєв М.М., Загарій Г.І., Тартаковський Е.Д., Бутько Т.В., Кустов В.Ф., Огар О.М., Куценко М.Ю., Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Ананьєва О.М., Прохорченко А.В., Жуковицький І.В., Гаврилюк В.І., Сердюк Т.М., Маловічко В.В., Самсонкін В.М., Фурман І.О., Бочков К.А., Харлап С.Н., Шевченко Д.Н., Розенберг Е.Н., Шубинський І.Б.,

Ургансков Д.І., Тарадін М.О. та ін. Серед закордонних вчених значну роль у розвитку методів та засобів контролю функціональних параметрів відповідальних систем керування, переважно шляхом моделювання технологічних процесів, відіграли Yang L., Yin J., Mutlu I., Ovatmam T., Soylemez M., Trgenc A., Wang Y., Feng J., Lee J., Choi H., Park D., Chung Y., Kim H., Yoon S., Short R., Celebe B., Kaymakci O., Kaymakci T., Chen X., Huang H., Busard S., Cappart Q., Limbree C., Pecheur C., Schaus P., Bonacchi A., Bacherin S., Tempestini M., Fantechi A., Fokkink W., Morzenti A., Estevan A., Kumar U., Tretten P., Garmabaki A., Ahmadi A., Larsson-Kraik P., Gustafson A., Soderholm P., Tamarit J., Wisten A., Niska S. та інші.

Аналіз відповідних наукових та прикладних праць, зокрема робіт [7 – 9, 10, 22 – 44], а також нормативно-технічних документів [45 – 55], вказує на те, що ключовими предметами контролю функціональних параметрів є не тільки експлуатаційна готовність, але й функційна безпечність СКРП. Нормативні документи та науково-прикладні підходи, що їх імплементують, спрямовані в такому випадку на дослідження та доказ функційної безпечності (ФБ) відповідних систем керування.

У ряді робіт при цьому, зокрема в [56, 58, 59], запропоновано в контексті забезпечення із застосуванням ергатичних СКРП (до яких належать ЕЦ, НАБ, АЛС, ДЦ) самого процесу руху потягів перейти від проблематики «функційної безпечності» до концепції «безпеки використання», яка охоплює не тільки показники ФБ, але й безвідмовності, експлуатаційної готовності, ремонтпридатності та інших показників надійності відповідних систем. В обґрунтування такого підходу в зазначених працях зазначається та доводиться, що ергатичні СКРП передбачають перехід у позаштатний режим функціонування, при якому нівелюється частина блокувальних залежностей систем. У таких умовах людина-оператор системи при визначенні безпеки функціонування системи враховується як повноцінний її компонент, що послідовно включається до розрахунково-логічної схеми функційної безпечності (РЛСФБ). Виходячи з того, що інтенсивність небезпечних помилок людини-оператора становить 10^{-3} – 10^{-4} 1/год, у

відповідних роботах встановлено, що верифікація таких СКРП на предмет безпеки функціонування повинна враховувати безвідмовність компонентів, захисна відмова яких призводить систему до допоміжного режиму функціонування, в якому людина-оператор враховується при визначенні показників безпечності. Стан системи, при якому вона продовжує (повністю або частково) виконувати свої функції, але бездостатньої мінімізації людського фактору, класифікується при цьому не як захисний, а як «потенційно небезпечний», експлуатація СКРП у якому обумовлюється збереженням належної готовності [56,57,58]. Подальший розвиток СКРП із урахуванням тенденцій Industry-4.0 (рисунки 1.13 – 1.15), особливо в комплексі тотальної цифровізації, передбачає становлення інтерактивної взаємодії СКРП не тільки з експлуатаційним персоналом (людиною-оператором), але й з технічним (обслуговуючим), а в ряді випадків – і з контрольно-ревізійним (інспекційним, аудиторським) персоналом. Зокрема, в роботі [55] закладені основи, згідно з якими відбувається зазначена взаємодія в рамках систем залізничної автоматики із використанням вкладених алгоритмів самодіагностики та зворотного зв'язку між представниками персоналу всіх видів і категорій.

Реалізація режимів функціонування при цьому безпосередньо пов'язано із санкціонуванням з боку належних посадових осіб та діагностичних висновків технічних засобів [9, 12, 17]. У роботах [10, 56] здійснено прикладну адаптацію наукових положень, наведених у роботі [55], до СКРП, що впроваджуються або знаходяться в експлуатації в Україні. Для мікропроцесорних СКРП розвиток такого роду взаємодії передбачається, перш за все, за рахунок можливостей системного та прикладного програмного забезпечення і т.д.

Із розвитком інтерактивної взаємодії між технічними засобами та персоналом СКРП підходить до визначення безпеки використання систем керування з огляду на збереження їх експлуатаційної готовності повинні враховувати такі фактори [7, 9, 10, 16, 17, 23, 24, 56]: – врахування показників надійності та безпечності представників не тільки оперативного, але й технічного та інших видів персоналу (залежно від типу системи, що використовується); – перехід від оцінювання

функційної безпечності до безпеки використання не тільки ергатичних (автоматизованих), але й автоматичних СКРП.

У такому випадку узагальнена функціональна схема формування, передачі та виконання команди керування довільної СКРП з урахуванням штатного та різних варіацій допоміжного режимів керування при інтерактивній взаємодії різних видів персоналу виглядає згідно рисунку 1.19 [7, 10, 17, 23]. Підсистема технічного діагностування, інтегрована в блок вибору режиму функціонування, визначає конкретний режим із урахуванням вихідних даних, наданих представниками всіх видів персоналу (оперативного, технічного та інспекційного) та зовнішніх технічних засобів у рамках інтерактивної взаємодії визначає конкретний режим функціонування системи при виконанні команди об'єкту керування та контролю (ОКК) – штатний (режим №0) або один чи декілька з допоміжних (№№ 1– n).

При штатному режимі функціонування системи (режим №0) через відповідні блоки керування та виконання команди із перевіркою всіх умов безпеки (програмно-апаратними засобами) здійснюється необхідна комутація керуючих кіл ОКК. У такому випадку людський фактор не є задіяним в безпосередньому процесі реалізації команди керування, тому не враховується у верифікації процесів убезпечення руху потягів технічними засобами. У разі виявлення засобами технічного діагностування необхідних ознак, згідно з якими передбачено перехід системи (в аспекті реалізації конкретної команди або групи команд) в один або декілька допоміжних режимів, відбувається реалізація цього переходу, після чого необхідним є врахування людського фактору в контексті убезпечення руху потягів. З урахуванням результатів робіт [58, 59], зокрема – параметру припустимого простою в роботі СКРП після захисної відмови, ймовірність небезпечної відмови СКРП при експоненціальному законі надійності, якщо знехтувати параметрами безпечності технічних компонентів системи в допоміжному режимі, визначається таким чином [7, 54] урахуванням максимальної тривалості робочої зміни оперативного й технічного персоналу на залізничному транспорті на рівні 12 годин відповідно до формул (1.6) – (1.9) у програмному середовищі MathCAD_15.0 побудованосімейство графіків

залежностей ймовірності небезпечної відмови СКРП удопоміжному режимі функціонування від часу (протягом зміни) та кількостіпредставників людського ресурсу, задіяних у інтерактивній взаємодії ізсистемою, з такими припущеннями:

- інтенсивність небезпечних відмов ПАЗ $\lambda_{н_ПАЗ} = 0$;
 - однакове постійне значення інтенсивності небезпечних відмов для кожного представника людського ресурсу $\lambda_{н_ЛР_l} = const = 10^{-6}, 10^{-5}, \dots, 10^{-2}$ 1/год.
- Побудовані графічні залежності наведено на рисунку 1.20. Аналогічно із використанням того ж програмного середовища із тими ж припущеннями побудовано також графіки залежності $Q_{н_СКРП}(\lambda_{н_ЛР}, N_{ЛР}, t)$ відповідно при $N_{ЛР} = const = 3, 5, 10, 15, 20$ чол.; $t = const = 1, 3, 6, 8, 12$ год. (рисунки 1.21,

З аналізу всіх трьох сімейств залежностей вбачається, що навіть примінімальних значеннях часу експлуатації системи, задіяного людського ресурсу показників його функційної безпечності ризик використання СКРП відповіднодо Міжнародної шкали визначається як винятково високий [7]. Вже при середніх значеннях аргументів функції $Q_{н_СКРП}(\lambda_{н_ЛР}, N_{ЛР}, t)$ ймовірність небезпечної відмови СКРП у допоміжних режимах коливається вдіапазоні від 0,4 до 0,6, а при граничних значеннях, зокрема – наприкінці робочоїзміни, досягає значення 1.Порівнюючи отримані результати опосередкованого впливу безвідмовності набезпеку використання СКРП при інтерактивній взаємодії всіх видів персоналу ізсистемою із результатами дослідження взаємодії системи тільки з оперативнимперсоналом, опублікованих у працях [8, 9], вбачається значно вищий ступіньтакого впливу, виходячи із крутизни відповідних графіків. Встановлення кореляційного або безпосереднього зв'язку між показникамибезвідмовності техніки, надійності людини (оперативного, технічного та інспекційного персоналу) та безпекою використання системи виходить за межі цієї роботи та потребує окремого дослідження. Так чи інакше, отримані результати додатково підтверджуютьнедостатність врахування виключно показників ФБ техніки при вирішенні питаньї верифікації при прагненні зберегти належну експлуатаційну готовність вумовах сучасного розвитку науково-технічного прогресу. Крім того, в умовах розвитку потреб суспільства, зокрема, в контексті потреб та досягнень Industry-4.0 у сфері

залізничного транспорту, не менш важливими параметрами СКРП ніж показники безпеки використання є показники їх призначення з позиції задоволення клієнтів у якісних пасажирських та вантажних перевезеннях. Таким чином, забезпечення заданих показників призначення становить не менш важливу функцію верифікації таких систем, що, зокрема, зображено на діаграмі рисунка 1.15 у контексті імітації та моделювання елементів і процесів керування рухом поїздів на різних етапах життєвого циклу відповідних систем [17, 24].

Враховуючи наявний досвід у предметній галузі, зокрема праці [7 – 9, 10, 20, 22 – 57], методи контролю функціональних параметрів СКРП поділяються на чотири основні групи та представляються у вигляді структурної схеми, зображеної у вигляді дерева на рисунку [6].

Розрахункові та експертні методи контролю функціональних параметрів СКРП призначені для попередньої оцінки безпеки використання, надійності та показників призначення систем, як правило – на етапі розроблення та проектування [56, 59, 60, 58]. На інших етапах життєвого циклу СКРП застосування таких методів можливо при реконфігурації систем, проте розрахунок параметрів системи завжди базується на ряді припущень і обмежень, що знижують достовірність його результатів. Крім того, застосування експертно-розрахункових методів базується на наявних чисельних вихідних даних щодо елементної бази та модульної компоновки, отримання яких від виробників або постачальників первинної продукції в багатьох випадках становить проблему, розв'язання якої не завжди можливе [59].

Таким чином, більш достовірними методами верифікації є експериментальні, що включають у себе різні види контролю якості продукції, реалізовані рядом способів та інструментальних засобів [56, 59, 57].

Найбільш достовірними методами верифікації серед експериментальної групи вважаються випробування, класифікація яких відповідно до праць і документів [56, 59, 20, 57, 58] та інших зображується рисунком. Розділення випробувань на лабораторні і експлуатаційні є умовним, враховуючи можливість застосування одних і тих самих методів їх реалізації як

в умовах виробництва й доексплуатаційних досліджень, так і безпосередньо на об'єктах впровадження (залізничних станціях, перегонах тощо).

З точки зору встановлення та підтвердження показників призначення систем, в тому числі – показників безпеки використання (що регламентовано більшістю експлуатаційних документів у сфері залізничної автоматики, зокрема – Правилами технічної експлуатації), а також забезпечення належної експлуатаційної готовності СКРП, найважливішою групою випробувань за призначенням є функціональні випробування. Їх реалізація як в лабораторних, так і в експлуатаційних умовах передбачає верифікацію виконання СКРП покладених на неї функцій, що і визначаються показниками призначення [57]. В напрямку розроблення та вдосконалення різних методів та засобів випробувань за останні п'ять років і в Україні, і в світі здійснено значний обсяг науково-прикладної роботи, спрямованої на підвищення глибини контролю (тестового покриття), зменшення ресурсів на проведення випробувань (людських, часових, матеріальних тощо), збільшення достовірності результатів випробувань, уніфікацію методів випробувань (зокрема – їх адаптацію під різні умови та зовнішні інструментальні засоби, а також СКРП різної побудови та призначення) тощо [56, 59, 14, 12, 13 – 16].

При цьому основним напрямком розвитку методології функціональних випробувань СКРП в останні роки залишається вдосконалення та нарощування можливостей імітаційних та комбінованих (фізико-імітаційних, поєднаних) моделей для випробувань, що становлять основний інструментарій для реалізації випробувально-діагностичних процедур. В таких умовах, головним чином – у результаті синтезу імітаційного та фізичного моделювання, досягаються широкі можливості по відтворенню всіх функцій і умов систем з мінімальними ресурсами та мінімальним впливом на поточний технологічний процес роботи комплексного об'єкту керування та контролю СКРП [56, 59, 60].

Відповідно до праць і документів [56, 57] ключовою задачею, яка потребує вирішення при реалізації випробувань СКРП для кожного об'єкту впровадження

або експлуатації, є формування та використання належних моделей для випробувань, які задовольняють вимогам.

Ключовою вимогою до зазначених моделей є їх адекватність, що полягає у відповідності вхідних і вихідних даних, що опрацьовуються моделлю, зазначеним даним, що є змінними (сигналами) СКРП. Адекватність моделей досліджується та доводиться вже після їх формування із використанням різних методів та засобів.

Одним з основних таких методів є метод тестування, який базується на представленні моделі в якості дискретного автомату певного роду. Тестування відбувається на базі спеціальних технічних засобів, реалізованих програмно [59]. Для реалізації зазначених вимог одним з найважливіших рішень є вибір раціонального математичного апарату для формування моделей для випробувань. У останніх дослідженнях за зазначеною тематикою, зокрема – у роботах [56, 59 – 60], обґрунтовано графоаналітичний підхід до реалізації зазначених задач, який забезпечує можливість комплексного відтворення технологічного об'єкта із моделюванням складових об'єктів, їх взаємних зв'язків, функцій та властивостей. В [5] проведено аналіз основних методів та засобів графоаналітичного моделювання розподілених технологічних об'єктів (наукові праці [59, 60]), які можуть бути застосовані при контролі функціональних параметрів СКРП. На його підставі формуються базові графоаналітичні моделі, що використовуються при вдосконаленні відповідних методів контролю з метою підвищення експлуатаційної готовності систем керування.