

Український державний університет залізничного транспорту  
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

ЩЕБЛИКІНА ОЛЕНА ВІКТОРІВНА

УДК 656.256:681.32

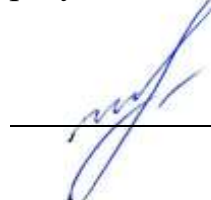
## ДИСЕРТАЦІЯ

# ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ГОТОВНОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ

275 – транспортні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

  
\_\_\_\_\_ О.В.Щебликіна

Науковий керівник:

КАМЕНЄВ Олександр Юрійович  
кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2020

## АНОТАЦІЯ

*Щебליкіна О.В.* Підвищення експлуатаційної готовності систем керування рухом поїздів на основі контролю функціональних параметрів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – Транспортні технології – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2020.

Дисертацію присвячено питанню підвищення експлуатаційної готовності систем керування рухом поїздів (СКРП), що реалізовані на мікроелектронній елементній базі з програмованою логікою функціонування, з метою скорочення непродуктивного простою руху поїздів на ділянках залізниць.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні науково-прикладного завдання підвищення експлуатаційної готовності СКРП на основі контролю їх функціональних параметрів, що здійснюється шляхом вдосконалення методів і моделей функціональних випробувань зазначених систем.

*Вперше* отримано, розроблено і запропоновано:

– методичний підхід до визначення експлуатаційної готовності СКРП, що використовує модель оцінки глибини контролю їх функціональних параметрів, яка будується на бієктивних відношеннях між функціональними складовими систем і їх технологічних об'єктів;

– 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;

– метод аналітичної інтерпретації технологічних об'єктів СКРП, що забезпечує відтворення їх статичних і динамічних властивостей у процесі контролю функціональних параметрів та базується на представленні графо-функціональних моделей функціонально-топологічними матрицями, формування яких здійснюється на основі матриць суміжності з діагональним відтворенням наповнення функціональних вершин;

– закономірності, які встановлюють зв'язок між глибиною контролю функціональних параметрів СКРП, масштабністю і складністю технологічних об'єктів СКРП та їх експлуатаційною готовністю.

*Удосконалено:*

– метод блочно-діагонального синтезу моделей для функціональних випробувань СКРП, який, на відміну від існуючого, базується на використанні вихідних блоків функціонально-топологічних матриць суміжності замість параметрично-топологічних матриць інцидентності;

– спосіб оцінки ефективності заходів із забезпечення експлуатаційної готовності СКРП за результатами функціональних випробувань, який базується на встановленому законі розподілу помилок програмного забезпечення.

*Набули подальшого розвитку:*

– підходи до оцінювання безпеки використання ергатичних СКРП, які враховують багатозначність допоміжних технологічних режимів функціонування системи та її інтерактивний характер взаємодії з персоналом;

– результати прогнозування впливу людського й технічного чинників на експлуатаційну надійність пристроїв СКРП.

Практичні результати дисертаційної роботи полягають у її прикладній спрямованості на підвищення параметрів готовності та відновлення СКРП у процесі експлуатації, зменшення непродуктивного простою в русі поїздів, а також зменшення ресурсоємності та підвищення ефективності контролю функціональних параметрів СКРП. Використання результатів дисертації дозволяє підвищити коефіцієнт готовності СКРП до 18%, збільшити інтенсивність відновлення СКРП до 6-ти разів, зменшити непродуктивні простої руху поїздів до 16%, підвищити рівень глибини контролю при функціональних випробуваннях СКРП до двох разів і зменшити інформаційні та часові ресурси на їх підготовку до 2-х разів. Крім того, результати дисертації мають перспективи подальшого розвитку щодо застосування в технологіях експлуатації інших видів транспорту.

За темою дисертації опубліковано 27 наукових праць, у тому числі 8 наукових статей у фахових виданнях, затверджених МОН України, з яких

1 включена до міжнародної наукометричної бази Scopus, 1 наукова стаття в іноземному виданні країни ЄС, 3 додаткові праці і 15 праць апробаційного характеру.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, наведено його мету, завдання, зв'язок із науковими програмами, планами і темами університету. Представлено наукову новизну, практичну значущість дисертації та наведено її загальну характеристику.

У *першому розділі* виконано огляд сучасного стану діючих СКРП на залізничному транспорті України та рівня їх надійності, встановлені тенденції та перспективи їх розвитку, а також визначені шляхи вирішення задач, пов'язаних із підвищенням їх експлуатаційної готовності.

Технічні засоби СКРП, які забезпечують рух поїздів і забезпечують належну пропускну здатність ділянок залізниць, знаходяться у морально і фізично зношеному стані, причому останній досягає рівня більше 60%. На підставі причинного аналізу відмов пристроїв СКРП протягом 2010 – 2019 років встановлено тренд щодо зростання впливу технічного чинника на їх експлуатаційну надійність і зменшення відповідного людського чинника. Прогнозування впливу зазначених чинників із коефіцієнтом детермінації  $R^2 = 0.97$  дає підстави стверджувати, що за умови відсутності комплексної модернізації технічних засобів СКРП в Україні до 2024 року вплив людського і технічного чинників зрівняється, а до 2030 року технічний чинник перевищуватиме людський удвічі.

Зазначена тенденція несе загрозу як безперебійній роботі залізничного транспорту, так і забезпеченню руху поїздів, що додатково вимагає впровадження більш сучасних СКРП на магістральному залізничному транспорті. Сучасні вимоги щодо розвитку техніки, сформовані в ході Четвертої світової промислової революції (Industry-4.0), обумовлюють запровадження принципово нових програмно-апаратних засобів СКРП, що базується на принципах цифровізації та інтелектуально-аналітичного супроводження.

У таких умовах набувають актуальності перегляд та коригування традиційних методів, моделей та засобів забезпечення експлуатаційної готовності СКРП. Одним з найважливіших заходів у цьому напрямку є вдосконалення методології контролю

показників призначення, надійності та безпеки використання систем, який доцільно виконувати шляхом функціональних випробувань.

Проведений аналіз різновидів та способів реалізації функціональних випробувань, а також підготовки до них, дає підстави вважати, що ключовою умовою їх ефективності та достовірності є адекватне відтворення технологічних об'єктів СКРП при виконанні ними заданих функцій. Ефективним інструментом цього відтворення є графоаналітичне моделювання технологічних об'єктів при формуванні та використанні моделей для випробувань, дослідженню якого присвячено немало праць вітчизняних і зарубіжних науковців.

Аналіз зазначених праць та їх інтерпретація щодо умов функціонування СКРП на залізницях України дозволив сформулювати основні шляхи підвищення їх експлуатаційної готовності на основі вдосконалення методів, моделей та засобів функціональних випробувань таких систем, що запроваджуються і модернізуються на принципах цифровізації.

*Другий розділ* присвячено формалізації технологічних об'єктів СКРП та показників ефективності випробувань, а також розробленню моделі оцінки глибини контролю функціональних параметрів СКРП для подальшого застосування відповідних результатів при підвищенні експлуатаційної готовності систем.

У процесі дослідження встановлено й обґрунтовано, що основними параметрами раціоналізації функціональних випробувань СКРП є ресурси на їх підготовку і проведення та обсяг випробувань, що зводиться до глибини контролю функціональних параметрів систем. Для мікропроцесорних систем керування глибина контролю визначається тестовим покриттям, що забезпечується функціональними випробуваннями.

Шляхом визначення відношень і зв'язків між складовими глибини контролю та іншими показниками ефективності функціональних випробувань було встановлено пропорційний зв'язок між тестовим покриттям та іншими параметрами раціоналізації, а також визначено, що обсяг тестового покриття є рівнозначним сумарній потужності множини всіх функціональних зв'язків між його складовими.

Це дало підставу для формування моделі оцінки глибини контролю функціональних випробувань на базі системи лінійних співвідношень між

кількісними показниками, що задають зазначені зв'язки. Дані показники визначаються як розв'язок системи лінійних рівнянь щодо основних складових глибини контролю СКРП. У ході дослідження встановлено ряд додаткових обмежень щодо технологічних об'єктів СКРП, стосовно яких припустимим є застосування моделі.

Досліджені похибки та адекватність моделі дозволили встановити точні діапазони припустимості її застосування для різних систем керування з точки зору їх масштабності та складності, що в подальшому призначено для оцінки доцільності використання тих чи інших моделей для випробувань і методів їх формування.

Дослідження, виконані в *третьому розділі*, присвячені формуванню методів синтезу моделей для випробувань СКРП різного призначення та їх зв'язку із параметрами експлуатаційної готовності.

З метою зменшення ресурсоемності та підвищення глибини контролю функціональних параметрів СКРП, а також уніфікації методів його реалізації для систем різного призначення, у розділі розроблено підходи до формування графо-функціональної моделі технологічних об'єктів, яка закладається в основу формування моделей для випробувань СКРП. Аналітична інтерпретація графо-функціональних моделей здійснюється на базі матриць суміжності, які модифікуються до функціонально-топологічних матриць. На відміну від найближчого аналога – параметрично-топологічних матриць – функціонально-топологічні матриці, базуючись на принципах суміжності заданих елементів, за діагональним позиціюванням відтворюють динамічні функціонали вершин графу та опосередкованим способом завдають кількісні й векторні характеристики зв'язків між вершинами, що моделюють об'єкти керування та контролю.

Функціонально-топологічні матриці в повному обсязі задають конфігурацію та динамічні властивості технологічних об'єктів систем керування, проте безпосереднє їх використання ускладнюється значною розмірністю щодо технологічних об'єктів великої масштабності.

Взявши за основу окремі принципи реалізації методу прямих сум, що застосовувався для параметрично-топологічних матриць, зазначений метод був

суттєво перероблений і модифікований у метод модифікованих прямих сум, що відрізняється використанням опорних елементарних дерев, які розмежують графо-функціональну модель на компоненти, для кожної з яких формується окремий блок функціонально-топологічної матриці.

Відповідно до оцінки ефективності запропонованого методу синтезу моделей для випробувань СКРП порівняно з найближчим аналогом за критеріями мінімізації кількості інформації, що вводиться під час синтезу моделі, мінімізації тривалості підготовки до випробувань, мінімізації кількості помилок проєктувальника моделі та збільшення тестового покриття встановлено, що ефективність за першими трьома показниками, залежно від масштабності об'єкта випробувань, збільшується до п'яти разів, а за досягнутим тестовим покриттям – до двох разів.

Зазначені переваги свідчать про доцільність та припустимість використання запропонованого методу при контролі функціональних параметрів СКРП з метою забезпечення їх експлуатаційної готовності.

*Четвертий розділ* присвячено аспектам практичного застосування результатів дисертаційного дослідження.

З урахуванням закономірностей між параметрами ефективності розробленого методу контролю функціональних параметрів, визначених у третьому розділі, перш за все глибиною контролю, з одного боку, та показниками експлуатаційної готовності, з другого боку, встановлено, що залежно від масштабності та складності технологічних об'єктів використання розробленого методу дозволяє збільшити коефіцієнт готовності СКРП до 18%, а інтенсивність їх відновлення – до шести разів. Враховуючи встановлений у першому розділі кореляційний зв'язок між експлуатаційною надійністю СКРП та затримками руху поїздів досягнення таких результатів дозволяє зменшити кількість непродуктивних простоїв поїздів до 16%.

У процесі практичної реалізації результатів дисертаційного дослідження для СКРП різного призначення встановлено, що наповнення функціональних вершин для різних технологічних об'єктів керування може здійснюватися аналітично, графічно (у вигляді вкладених графів) та змішаним способом. Використання змішаного способу зважування функціональних верши досліджено

на прикладі фрагменту моделі для випробувань інтелектуально-аналітичної системи підтримки прийняття рішень диспетчерської централізації на промисловому залізничному транспорті. Аналогічні підходи запропоновані для формування та конфігурації модернізованого контрольного пункту автоматичної локомотивної сигналізації моторвагонного депо.

На прикладі системи мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів (МПЦ) розроблено та використано систему автоматизованого проектування (САПР) моделі для випробувань, в основу якої закладено розроблений у третьому розділі метод модифікованих прямих сум. Застосування САПР для синтезу моделі для випробувань системи МПЦ однієї зі станцій регіональної філії «Південно-західна залізниця» АТ «Укрзалізниця» підтвердило коректність використання методу, а шляхом тестування моделі на базі штатних діагностичних засобів контролю обміну між підсистемами централізації доведено її адекватність при відтворенні всіх об'єктів керування та контролю.

Додатково в розділі досліджено результати випробувань зазначеної системи МПЦ, в ході яких встановлено експоненціальний закон розподілу виявлених помилок програмного забезпечення, яке реалізує логічні залежності централізації.

На основі отриманих результатів запропоновано показники ефективності підготовки програмних засобів багатоканальних мікропроцесорних систем електричної централізації, які базуються на визначенні швидкості зміни функції розподілу виявлених помилок.

Зазначені показники дозволять виконати прогнозування експлуатаційної готовності СКРП на етапах їх виробництва, технічного обслуговування та ремонту як на об'єктах експлуатації, так і в заводських або лабораторних умовах.

Розрахований економічний ефект від використання науково-практичних результатів дисертації становить приблизно 330,75 тис. грн. на рік при запланованих обсягах модернізації СКРП, що свідчить про доцільність їх впровадження.

**Ключові слова:** система керування рухом поїздів, експлуатаційна готовність, контроль функціональних параметрів, функціональні випробування, метод випробувань, модель для випробувань, глибина контролю, тестове покриття, відмова, надійність, безпека використання.



## ABSTRACT

*Shcheblykina O.V.* Improving the operational readiness of train control systems based on the control of functional parameters. – Qualification scientific work – manuscript.

Thesis for a Ph.D. – Doctor of Philosophy in 275 – Transport Technologies. – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The dissertation is devoted to the issue of increasing the operational readiness of train control systems performed on the microelectronic elementary base with the programmed logic of functioning with the purpose of reducing unproductive train movement downtime at railway sections.

The scientific novelty of the dissertation is revealed in solving the scientific and applied problem of improving the operational readiness of train control systems based on the control of their functional parameters, which is carried out by improving the methods and models of functional tests for the systems defined.

It is for the first time that the following has been specified, developed and proposed:

- methodological approach to determining the operational readiness of train traffic control systems with use of the evaluation model of test coverage of functional tests, which is based on the objective relationship between functional parameters of systems and technological objects;

- the method of reproduction of technological objects in the control means of train control systems functional parameters on the basis of graph-functional models, which take into account both static and dynamic characteristics of controlled objects using functional vertices;

- the method of analytical interpretation of technological objects of train traffic control systems, which provides reproduction of their static and dynamic characteristics in the process of control of functional parameters and is based on graph-functional models presented by functional-topological matrices, which are formed on the basis of adjacency matrices with diagonal view of functional vertices;

– regularities that establish the relationship between the level of control of the functional parameters of train control systems, the scale and complexity of the technological objects of train control systems and their operational readiness.

*The following have been improved:*

– the method of block-diagonal synthesis of models for functional tests of train control systems, which, in contrast to the existing one, is based on the use of source blocks of functional-topological adjacency matrices instead of parametric-topological incidence matrices;

– the method for assessing the effectiveness of measures to ensure the operational readiness of train control systems based on the results of functional tests, which is based on the established law of distribution of software errors.

*Further development has been given to:*

– the approaches to assessing the safety of the use of ergatic train control systems, which take into account the ambiguity of the auxiliary technological modes of system operation and the interaction character of communication with operational, technical and inspection personnel;

– the results of forecasting the impact of human and technical factors on the operational reliability of devices and train control systems.

The practical results of the dissertation are revealed in the fact that the research is applicable and is aimed at improving the parameters of readiness and restoration of train control systems during operation, reducing unproductive downtime of trains, as well as reducing resource consumption and improving the control of functional parameters of train control systems. The use of practical results of the dissertation allows, first of all, increasing the train control systems readiness coefficient up to 18%, increasing the recovery intensity up to six times and reducing unproductive downtime of trains up to 16%, improving depth control level at functional tests of train control systems up to two times and reducing data and time resources for their preparation to two times. In addition, the results of the dissertation have prospects for further development when applied to operation technologies of other modes of transport.

On the topic of the dissertation there have been published 27 scientific papers, including 8 scientific articles in professional journals approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine, 1 out of which is included in the international scientometric database Scopus; 1 scientific article is in a foreign publication of an EU country; three additional works; 15 works of approbation character.

The introduction substantiates the relevance of the topic of the dissertation, its aim, objectives, in connection with scientific programs, plans and topics of the university. The scientific novelty, practical significance of the dissertation is presented and its general characteristic is given.

*The first section* reviews the current state of existing train control systems for railway transport of Ukraine and the level of their operational reliability, identifies trends and prospects for their development, as well as determines the ways of solving the problems of operation readiness improvement.

The technical means of train traffic control systems, which ensure the movement of trains and provide for the proper through-put capacity of railway sections, are in a morally and physically worn-out condition, the latter reaching the level of more than 60%. The analysis of failures of train control systems for the period of 2010 – 2019 gives ground to ascertain the formation of a trend to increase the technical factor impact on the operational reliability and to reduce the corresponding human factor. At the same time, predicting the impact of the defined factors with a coefficient of determination  $R^2 = 0.97$  suggests that in 2024 the impact of human and technical factors will be equalized, and by 2030 the technical factor will exceed twice the human.

This trend poses a threat to both the fail-safe operation of railway transport and train safety, which further requires the introduction of more up-to-date train control systems on the main railway transport. Modern requirements to the development of technology, which were formed during the Fourth World Industrial Revolution (Industry-4.0), result in the introduction of fundamentally new technology in the means of train traffic control systems, based on the principles of digitalization and intellectual and analytical support.

The problem of revising and correcting traditional methods, models and means of ensuring operational readiness of train operation systems becomes more topical under such conditions. One of the most important steps in this direction is the introduction of the methodology of the factors of system function, reliability and safety which is to be applied through functional tests.

The analysis of varieties and methods of functional tests, as well as preparation for them, gives reason to believe that the key condition for their effectiveness and reliability is the adequate reproduction of technological objects of train control systems when performing their assigned functions. An effective tool for this reproduction is graph-analytical modeling of technological objects in the formation and use of models for testing, which has been studied in numerous domestic and foreign scientific works.

The analysis and interpretation of these works regarding the operating conditions of train control systems on the railways of Ukraine allowed determining the main ways to improve the operational suitability of train control systems based on the perfection of methods, models and means of functional testing of such systems implemented and modernized on digital principles.

*The second section* is devoted to the formalization of technological objects of train control systems and test performance indicators, as well as the development of a model for estimating the level of control for further application of appropriate results in improving the operational readiness of systems.

In the course of the research it was established and substantiated that the main parameters of rationalization of functional tests of train control systems are the resources for their preparation and conduct, as well as the amount of tests, which is reduced to the level of control of functional parameters. For microprocessor control systems, the level of control is determined by the test coverage provided by the tests.

By determining the relationship between the components of the test coverage and other indicators of the effectiveness of functional tests, a proportional relationship between the test coverage and other parameters of rationalization was established, and it was determined that the amount of test coverage is equivalent to the total power of all functional relationships between its components.

This gave rise to the formation of the foundations of the model for estimating the level of control (test coverage) of functional tests based on a system of linear relationships between the quantitative indicators specified in these relationships. These indicators are defined as the solution of a system of linear equations for the main components of the test coverage. The study identified a number of additional restrictions on the technological objects of train traffic control systems, for which the use of the model is acceptable.

The studied errors and adequacy of the model resulted in establishing the exact ranges of acceptability of its application for different control systems in terms of their scale and complexity, which is further intended to assess the feasibility of using certain models for testing and methods of their formation.

The research performed *in the third section* is devoted to the formation of methods for the synthesis of models for testing train control systems for various purposes and their relationship with the parameters of operational readiness.

With the aim of reducing power intensity and increasing the control level of functional parameters of train control systems, as well as unification of implementation methods for multipurpose systems, the section elaborates the approaches to forming grapho-functional model of technological objects which is laid at the basis of model formation for train control system tests. Analytical interpretation of grapho-functional models is carried out on the basis of adjacency matrices, which are modified to functional-topological matrices. In contrast to the closest analogue – parametric-topological matrices – functionally topological matrices, based on the principles of adjacency of given elements, diagonally positioning reproduce the dynamic functional of the vertices of the graph and indirectly cause quantitative and vector characteristics of the relationship between vertices modeling control objects and control.

Functional-topological matrices fully define the configuration and dynamic characteristics of technological objects of control systems; however, their implementation is complicated by considerable dimensions of large-scale technological objects.

Based on some principles of implementation of the method of direct sums used for parametric topological matrices, this method was significantly redesigned and modified into a method of modified direct sums, characterized by the use of reference elementary trees that delimit the graph-functional model into components for each of which form a block of functional-topological matrix.

According to the evaluation of the efficiency of the proposed method of model synthesis for testing train control systems as compared to the closest analogue by the criteria of minimizing the amount of information entered during model synthesis, minimizing the duration of test preparation, minimizing the number of model designer errors and increasing test coverage, it is determined that according to the first three indicators and depending on the scale of the test object, the efficiency increases up to five times, and according to the achieved test coverage – up to two times.

These advantages indicate the feasibility and acceptability of the use of the proposed method in controlling the functional parameters of train control systems in order to ensure their operational readiness.

*The fourth section* is devoted to the aspects of practical application of dissertation research results.

Taking into account the established regularities between the parameters of efficiency of the developed method of control of functional parameters established in the third section, first of all – depth of control, on the one hand, and indicators of operational readiness on the other hand, it is established that depending on scale and complexity of technological objects, the use of the developed method allows to increase the coefficient of readiness of train control systems to 18%, and the intensity of their recovery – up to six times. Taking into account the correlation between the operational reliability of control systems and train delays which was established in the first section, such results allow to reduce the number of unproductive downtime of trains up to 16%.

In the process of practical testing of the results of the dissertation for train control systems for different purposes, it has been found out that the filling of functional peaks for different technological control objects can be done analytically, graphically (in the form of nested graphs) and by a mixed method. The use of a mixed

method of weighing functional verses is investigated on the example of a fragment of the model for testing the intellectual-analytical decision support system of centralized traffic control on freight rail transport. Similar approaches are proposed for the formation and configuration of modernized control point of automatic locomotive signaling at car depot.

On the example of the system of microprocessor centralization of points and signals, the system of automated design (CAD) of the model for tests which uses the method of the modified direct sums developed in the third section has been elaborated and implemented. The use of CAD for the synthesis of a model for testing the electrical centralization system of one of the stations of the regional branch «South-Western Railway» JSC «Ukrainian railways» confirmed the correctness of the method, and by testing the model based on standard diagnostic tools to control the exchange between objects of management and control, its feasibility to all the objects of control and management is confirmed.

Additionally, the section examines the results of tests of the station centralization system, during which the exponential law of software fault distribution is established realizing the logical dependencies of signaling.

The results of the research give ground to propose the preparation efficiency indicators for multichannel microprocessor interlocking systems which are based on determining the steepness of monotonic distribution of software errors detected during tests.

These indicators will allow forecasting the operational readiness of train traffic control systems at the stage of their production, maintenance and repair both at the facilities and in the factory or laboratory conditions.

According to the calculation of the economic efficiency of the implementation of the results of the dissertation, it is established that the corresponding economic effect is about UAH 330,75 thousand a year per one technical unit with the planned volumes of modernization of train control systems.

**Keywords:** train traffic control system, operational readiness, control of functional parameters, functional tests, test method, test model, level of control, test coverage, failure, reliability, safety of use.

## Список публікацій здобувачки

**Основні наукові праці:***Наукові праці у фахових виданнях України:*

1. Каменєв О. Ю., Сіроклин І. М., Змій С. О., Щебликіна О. В. Технологічна проблема регулювання пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації моторвагонного рухомого складу. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. Вип. 168. С. 19 – 30.

2. Бойнік А.Б., Каменєв О.Ю., Змій С.О., Щебликіна О.В., Гаєвський В.В. Дефектування технічного, технологічного та організаційного забезпечення контрольованого пункту АЛСН моторвагонного депо. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті: науково-технічний журнал*. 2017. Вип. №13. С. 66 – 80.

3. Бойнік А.Б., Прилипко О.Ю., Каменєв О.Ю., Лазарєв О.В., Щебликіна О.В. Вибір типу чутливого елемента для точкового колійного датчика. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2017. Вип. № 2. С. 31 – 39.

4. Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Щебликіна О. В., Лазарєв О.В., Ушаков М.В. Модель диспетчерського керування взаємозалежними транспортними потоками на промисловому залізничному транспорті. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2018. Вип. 182. С. 63 – 79.

5. Voinik, A., Prohonyi, O., Kameniev, O. Lapko, A., Kuzmenko, D., Shcheblykina O. Development and investigation of methods of graphic-functional modeling of distributed systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 94. № 4 /4. 2018. P. 59-69. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.140636 (видання індексується у базі Scopus).

6. Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Щебликіна О.В. Прогнозна динаміка впливу людського та технічного чинників на експлуатаційну надійність пристроїв залізничної автоматики. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. 2020. Вип. 40. С. 168 – 178.

7. Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Щебликіна О.В. Математичні моделі верифікації ергатичних систем засобів залізничної автоматики. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2020. Вип. 4 (151). С. 7 – 14.



8. Щєбликіна О.В., Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Сагайдачний В.Г. Підвищення показників готовності та відновлення систем керування рухом поїздів на основі збільшення глибини контролю. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2020. Вип. № 2. С. 32 – 42.

*Публікації у виданнях інших держав:*

9. Kameniev O., Lapko A., Shcheblykina E. Improvement of technologies for the development of modern rail automation systems. *International journal for science, technics and innovations for the industry*. «MACHINES. TECHNOLOGIES. MATERIALS». Sofia, Bulgaria. 2017. Issue 11. P. 533 – 536.

*Праці апробаційного характеру:*

10. Бойнік А.Б., Змій С.О., Каменєв О.Ю., Щєбликіна О.В. Метод та результати моделювання операцій чергового по станції: тези X Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті», м. Дніпро (14 – 15 грудня 2016 р.). – Дніпро: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна. 2016. С. 26.

11. Каменєв О.Ю., Щєбликіна О.В. Удосконалення та формалізація процедур складання технічних завдань розробникам програмного забезпечення систем керування та регулювання руху поїздів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: матеріали доповідей 29-ї міжнародної науково-практичної конференції, м. Чорноморськ (27 – 29 вересня 2016 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. №4 (Додаток). С. 27 – 28.

12. Щєбликіна О.В., Анічін В.В. Використання мобільного додатку автоматизованого робочого місця електромеханіка. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: матеріали доповідей 29-ї міжнародної науково-практичної конференції, м. Чорноморськ (27 – 29 вересня 2016 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. №4 (Додаток). С. 51.

13. Бойнік А.Б., Кустов В.Ф., Щєбликіна О.В., Каменєв О.Ю. Развитие научных основ и практических подходов к обеспечению и доказательству безопасности систем железнодорожной автоматики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: матеріали доповідей 30-ї міжнародної

науково-практичної конференції, м. Одеса (20 – 23 вересня 2017 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. №4 (Додаток). С. 71 – 73.

14. Бойник А.Б., Щєблыкина Е.В. Проведение испытаний автоматизированной системы микропроцессорной централизации стрелок и сигналов на функциональную безопасность и безотказность на имитационных моделях. *Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті: тези VIII міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернівці (01 – 03 лютого 2017 р.)*. – Дніпро: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, 2017. С. 17 – 18.

15. Бойник А.Б., Кустов В.Ф., Каменєв О.Ю., Змій С.О., Щєбликіна О.В. Особливості мікропроцесорного керування переїзною сигналізацією. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту: тези доповідей 79-ї міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків (25 – 27 квітня 2017 р.)*. – Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (Додаток). С. 4 – 6.

16. Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Щєбликіна О.В. Верифікація програмних засобів, реалізованих мовою релейно-контактної логіки. *Free and open source software: матеріали X ювілейної міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків (20 – 22 листопада 2018 р.)*. – Харків: ХНУБА, 2018. С. 68.

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

18. Каменєв О.Ю., Щєбликіна О.В. Вдосконалення процедур синтезу випробувальних моделей залізничної автоматики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези стендових доповідей та виступів 31-ї міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків (24 – 26 жовтня 2018 р.)*. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. №4 (Додаток). С. 64 – 65.

19. Щєбликіна О.В., Кузьменко Д. М. Доказ безпечності мікропроцесорної системи напівавтоматичного блокування з радіоканалом. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези стендових доповідей та виступів 31-ї*

міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків (24 – 26 жовтня 2018 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. №4 (Додаток). С. 66.

20. Лапко А.О., Каменєв О.Ю., Щєбликіна О.В., Сагайдачний В.Г., Панасенко М.О., Кладко А.С. Аналіз способів моделювання розподілених систем. *«ТАК» Телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології*: збірка доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, м. Покровськ (30 листопада 2018 р.). – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2018. С. 151 – 153.

21. Щєбликіна О.В., Каменєв О.Ю., Лапко А.О. Автоматизація проектування об'єктів специфічного призначення. *Прикладні науково-технічні дослідження*: матеріали III міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ (3 – 5 квітня 2019 р.). – Івано-Франківськ: Академія технічних наук України, 2019. С. 45.

22. Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Щєбликіна О.В. Система тунельної ідентифікації небезпечних об'єктів. *Прикладні науково-технічні дослідження*: матеріали III міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ (3 – 5 квітня 2019 р.). – Івано-Франківськ: Академія технічних наук України, 2019. С. 209.

23. Щєблыкіна Е.В., Ушаков М.В. Повышение надежности эксплуатации эргатических систем управления путем применения технологии терминального доступа. *Проблемы безопасности на транспорте*: материалы IX международной научно-практической конференции, г. Гомель, Республика Беларусь (28 – 29 ноября 2019 г.). Часть 1. – Гомель: БелГУТ, 2019. С. 257 – 259.

24. Kameniev O., Lapko A., Shcheblykina E. Improvement of technologies for the development of modern rail automation systems. *Industry 4.0: Proceedings II International Scientific Conference, Borovets, Bulgaria (13–16 december 2017)*. – Sofia, Bulgaria: Scientific technical union of mechanical engineering “Industry-4.0”, 2017, Vol. 1/1. P. 107 – 110.

***Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:***

25. Пат. на корисну модель 122882, Україна, МПК G01S 17/42 (2006.01)  
Канал вимірювання радіальної швидкості літальних апаратів з можливістю

розпізнавання літальних апаратів для мобільної однопунктної системи зовнішньо-траєкторних вимірювань. О.В.Коломійцев, І.І. Сачук, О.О. Зверев, О.П. Нарезній, В.О. Павлій, І.В.Помогаєв, А.А. Прилипко, Ю.П. Рондін, М.Л.Троцько, О.В. Щебликіна. Заявка u201709114 від 14.09.2017; опубл. 25.01.2018, бюл. № 2.

26. Пат. на корисну модель 122883, Україна, МПК G01S 17/42 (2006.01) Канал вимірювання кутових швидкостей літальних апаратів з можливістю розпізнавання літальних апаратів для мобільної однопунктної системи зовнішньотраєкторних вимірювань. О.В. Коломійцев, І.І. Сачук, О.О. Зверев, Д.В. Молчанов, О. П. Нарезній, В.О. Павлій, А. А. Прилипко, Ю. П. Рондін, М.Л.Троцько, О.В. Щебликіна. Заявка u201709115 від 14.09.2017; опубл. 25.01.2018, бюл. № 2.

27. Пат. на корисну модель 123393, Україна, МПК G01S 17/42 (2006.01) Канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком з можливістю розпізнавання літальних апаратів для мобільної однопунктної системи зовнішньо-траєкторних вимірювань. О.В. Коломійцев, І.І. Сачук, С.В. Герасимов, О.О. Зверев, Д.В. Молчанов, О. П. Нарезній, В.О. Павлій, Ю.П. Рондін, М.Л.Троцько, О.В. Щебликіна. Заявка u201709107 від 14.09.2017; опубл. 26.02.2018, бюл. № 4.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	23
ВСТУП	25
РОЗДІЛ 1 КОНТРОЛЬ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ У КОНТЕКСТІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ГОТОВНОСТІ	33
Стан діючих систем керування рухом поїздів та експлуатаційна надійність їх функціонування	33
Особливості впровадження сучасних систем керування рухом поїздів на залізницях Україні	47
Аналіз методів та моделей контролю функціональних параметрів систем керування рухом поїздів	56
Висновки за розділом	73
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛІ ОЦІНКИ ГЛИБИНИ КОНТРОЛЮ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ	75
Складові раціоналізації контролю функціональних параметрів	75
Умовна формалізація глибини контролю функціональних параметрів	84
Відхилення та адекватність моделі оцінки глибини контролю	96
Висновки до розділу	98
РОЗДІЛ 3 ГРАФО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ГОТОВНОСТІ	100
Базова геометрична модель розподіленої системи керування рухом поїздів	100
Графо-функціональна модель розподіленої системи керування рухом поїздів	105
Метод опосередкованого відтворення графо-функціональних моделей	118
Процедура застосування модифікованого методу синтезу моделей для випробувань	128
Висновки за розділом	132

	22
РОЗДІЛ 4 НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ГОТОВНОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМ ПОЇЗДІВ	133
Визначення закономірностей впливу глибини контролю на експлуатаційну готовність систем керування рухом поїздів	133
Синтез моделі для випробувань системи мікропроцесорної централізації	139
Результати випробувань системи мікропроцесорної централізації та їх оброблення	146
Висновки за розділом	154
ВИСНОВКИ	156
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	159
ДОДАТОК А Аналіз методів графоаналітичного моделювання технологічних об'єктів	182
ДОДАТОК Б Розв'язання системи лінійних рівнянь зв'язків між елементами тестового покриття систем керування рухом поїздів	187
ДОДАТОК В Таблиця перевірки адекватності моделі оцінки тестового покриття	196
ДОДАТОК Г Визначення ефективності графо-функціонального методу контролю функціональних параметрів систем керування рухом поїздів	202
ДОДАТОК Д Модель для випробувань автоматичної локомотивної сигналізації на контрольному пункті моторвагонного депо	215
ДОДАТОК Е Розрахунок економічної ефективності використання результатів дисертації на етапі експлуатації систем керування рухом поїздів	227
ДОДАТОК Ж Список публікацій здобувачки за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	233
ДОДАТОК І Матеріали впровадження результатів дисертаційної роботи	239

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АБ	– автоматичне блокування;
АЗ	– апаратне забезпечення;
АЛСН	автоматична локомотивна сигналізація неперервної дії;
АРМ	– автоматизоване робоче місце;
АПС	– автоматична переїзна сигналізація;
АСК ТП	– автоматизовані системи керування технологічними процесами;
ДЦ	– диспетчерська централізація;
ЕЦ	– електрична централізація;
ЗА	– залізнична автоматика;
ЗАТ	– залізнична автоматика та телемеханіка;
ІАС ППР	– інтелектуально-аналітичні системи підтримки прийняття рішень;
КП	– контрольний пункт;
ЛМІ	– людино-машинний інтерфейс;
МВРС	– моторвагонний рухомий склад;
МКРД	– мікропроцесорні контролери рейкового датчика;
МНАБ	– мікропроцесорна система напівавтоматичного блокування;
МПЦ	– мікропроцесорна централізація;
МПДК	– мікропроцесорна система диспетчерського контролю;
МПДЦ	– мікропроцесорна система диспетчерської централізації;
ММПС	– метод модифікованих прямих сум;
МПС	– метод прямих сум;
НАБ	– напівавтоматичне блокування;
НДР	– науково-дослідна робота;
НЛК	– нижній лівий кут;
ОЕД	– опорні елементарні дерева
ОКК	– об'єкт керування та контролю;
ОСЖД	– Організації співробітництва залізниць;
ПАЗ	– програмно-апаратні засоби;

ПЗ	– програмне забезпечення;
ПМВ	– програма та методика випробувань;
ПТЕ	– правила технічної експлуатації;
ПТМ	– параметрично-топологічна матриця;
РЛСФБ	– розрахунково-логічної схеми функційної безпечності
РПЦ	– релейно-процесорна централізація;
РТД	– ремонтно-технологічний ділянка;
РШ	– релейна шафа;
САПР	– система автоматизованого проектування;
СКРП	– система керування та регулювання рухом поїздів;
СФТМ	– функціонально-топологічна матриця суміжності;
СЦБ	– сигналізація, централізація та блокування;
ТА	– технологічні алгоритми;
ТВ	– технічні вимоги;
ТЗ	– технічне завдання;
ТКД	– точковий колійний датчик;
ТО	– технічне обслуговування;
ТУ	– технічні умови;
ФАЛ	– функція алгебри логіки;
ФБ	– функційна безпечність;
ФТМ	– функціонально-топологічна матриця;
ЦШ	– департамент автоматики та телекомунікацій АТ «Укрзалізниця».



## 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 безперебійності 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 2020 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.

Водночас спостерігається тенденція до зменшення експлуатаційної готовності релейно-контактних СКРП, що виявляється у збільшенні негативного впливу їх відмов на збільшення непродуктивного простою в русі поїздів через технічний чинник. Це вимагає інтенсифікації заходів із технічного переоснащення пристроїв СКРП на залізницях України із використанням технологій цифровізації, що передбачена Національною транспортною стратегією України до 2030 року.

Існуючі методичні підходи до забезпечення належної експлуатаційної готовності сучасних СКРП базуються, перш за все, на контролі їх функціональних параметрів на всіх етапах життєвого циклу. При цьому спостерігається недостатній

рівень їх результативності, що полягає в невисокій глибині контролю, що безпосередньо впливає на експлуатаційну готовність СКРП, а також рівень безпеки використання систем. Такий стан речей ставить під сумнів ефективність модернізації засобів СКРП з точки зору забезпечення ефективності та безпеки технологій залізничних перевезень.

Таким чином актуальною задачею постає необхідність вдосконалення існуючих підходів щодо контролю функціональних параметрів СКРП. Її вирішення на базі поліпшення методів, моделей та технічних засобів функціональних випробувань дозволить підвищити рівень експлуатаційної готовності СКРП, скоротити ймовірність непродуктивного простою руху поїздів після переоснащення основних технічних засобів транспортного призначення та прискорити виконання держаних заходів із розвитку і реформування залізничного транспорту в Україні.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Українського державного університету залізничного транспорту в період 2016 – 2020 рр. відповідно до Національної транспортної стратегії України до 2030 року (розпорядження КМУ від 30.05.2018 р. № 430-р); Стратегічного плану розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року (наказ Міністерства інфраструктури України від 21.12.2015 р. № 547); планів науково-дослідних робіт Українського державного університету залізничного транспорту та Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за темами «Розроблення заходів із підвищення надійності та безпечності функціонування мікропроцесорних систем залізничної автоматики» (державний реєстраційний номер 0116U004891), «Проведення експертизи технічних рішень та методики розрахунку регулювальних таблиць тональних рейкових кіл» (державний реєстраційний номер 0118U004396), «Розроблення системи підтримки прийняття рішень з організації перетинань потоків різних видів транспорту» (державний реєстраційний номер 0115U000274), «Науково-практичний підхід підвищення безпеки дорожнього руху на залізничних переїздах» (державний реєстраційний номер 0115U003272), у виконанні яких авторка дисертації приймала безпосередню участь.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є вирішення науково-прикладного завдання з підвищення експлуатаційної готовності СКРП на основі контролю їх функціональних параметрів, що здійснюється шляхом вдосконалення методів і моделей функціональних випробувань.

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

- опрацювання статистичних даних щодо експлуатаційної надійності СКРП на залізничному транспорті України, аналіз її впливу на безперебійність руху поїздів для констатації поточного стану експлуатаційної готовності діючих СКРП;
- прогнозування впливу основних чинників на експлуатаційну надійність діючих пристроїв СКРП до 2030 року з метою визначення рівня критичності щодо необхідності їх комплексної модернізації;
- 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;
- розроблення методу аналітичної інтерпретації графо-функціональних моделей технологічних об'єктів СКРП для можливості їх оброблення засобами комп'ютерної техніки при формуванні засобів контролю функціональних параметрів СКРП;
- удосконалення методу синтезу моделей для функціональних випробувань СКРП на базі вихідного блочно-діагонального розділення функціонально-

топологічних матриць, реалізованих на базі матриць суміжності, які інтерпретують графо-функціональні моделі систем;

- оцінка ефективності використання розробленого методу синтезу моделей для випробувань СКРП за ресурсними критеріями та критерієм збільшення глибини контролю;

- визначення впливу результатів вдосконалення методів та моделей контролю функціональних параметрів на експлуатаційну готовність СКРП та безперебійність дотримання графіку руху поїздів;

- дослідження результатів практичного використання методів та моделей контролю функціональних параметрів СКРП у процесі їх виробництва та експлуатації в контексті забезпечення належної експлуатаційної готовності систем керування рухом поїздів.

*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.

**Методи дослідження.** 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. Метод теорії надійності та функційної безпеки застосовані при обґрунтуванні різних способів випробувань при забезпеченні експлуатаційної готовності систем керування. Методи імітаційного та фізичного моделювання використано при синтезі засобів випробувань та при доказі адекватності моделей випробувань. Теорію дискретних автоматів застосовано при формуванні моделей для випробувань різного призначення.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вирішено науково-прикладне завдання з підвищення їх експлуатаційної готовності СКРП на основі контролю функціональних параметрів, що здійснюється шляхом вдосконалення методів і моделей функціональних випробувань у процесі виробництва, експлуатації, технічного обслуговування та ремонту.

***Вперше*** отримано, 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 бієктивних 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;

- метод аналітичної інтерпретації технологічних об'єктів СКРП, що забезпечує відтворення їх статичних і динамічних властивостей у процесі контролю функціональних параметрів та базується на представленні графо-функціональних моделей функціонально-топологічними матрицями, формування яких здійснюється на основі матриць суміжності з діагональним відтворенням наповнення функціональних вершин;

- закономірності, які встановлюють зв'язок між глибиною контролю функціональних параметрів СКРП, масштабністю і складністю технологічних об'єктів СКРП та їх експлуатаційною готовністю;

***Удосконалено:***

- метод блочно-діагонального синтезу моделей для функціональних випробувань СКРП, який, на відміну від існуючого, базується на використанні вихідних блоків функціонально-топологічних матриць суміжності замість параметрично-топологічних матриць інцидентності;

- спосіб оцінки ефективності заходів із забезпечення експлуатаційної готовності СКРП за результатами функціональних випробувань, який базується на встановленому законі розподілу помилок програмного забезпечення;

***Набули подальшого розвитку:***

- підходи до оцінювання безпеки використання ергатичних СКРП, які враховують багатозначність допоміжних технологічних режимів функціонування

системи та її інтерактивний характер взаємодії з експлуатаційним, технічним й інспекційним персоналом;

– результати прогнозування впливу людського й технічного чинників на експлуатаційну надійність пристроїв і СКРП.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати дисертаційного 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 дисертації відбувається під час виробництва та експлуатації мікропроцесорних СКРП на об'єктах транспортної інфраструктури регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця», ПАТ «МК «Запоріжсталь», ТОВ «Вуглепромтранс», ТОВ «Хартрон-Енерго» та в освітньому процесі Українського державного університету залізничного транспорту. Крім того, результати дисертації мають перспективи подальшого розвитку щодо застосування в технологіях експлуатації інших видів транспорту – автомобільного, авіаційного, морського і річкового.

Практична цінність результатів дисертації полягає в:

– можливості відтворення в процесі формування моделей для випробувань не тільки статичних, але й динамічних характеристик об'єктів випробувань у файлах конфігурації, що виключає необхідність використання праці професійних програмістів навіть при нарощуванні функціональних властивостей об'єктів випробувань;

– підвищенні коефіцієнту експлуатаційної готовності СКРП у процесі контролю функціональних параметрів за розробленими методами до 18%;

– підвищенні інтенсивності відновлення СКРП у процесі контролю функціональних параметрів за розробленими методами до 6-ти разів;

– збільшенні глибини контролю при проведенні випробувань із використанням моделей, синтезованих за розробленими методами, до 2-х разів;

– зменшенні обсягу програмної інформації, тривалості процесу та кількості прогнозованих помилок під час синтезу моделей для випробувань;

- універсальності розроблених методів і моделей для СКРП довільного призначення (станційних, перегінних, бортових тощо);
- скороченні простою у графіку руху поїздів у результаті контролю функціональних параметрів СКРП до 16%.

Прогнозований річний економічний ефект від впровадження результатів дисертації складає 330,75 тис. грн. при запланованих обсягах модернізації СКРП.

**Особистий внесок здобувачки.** Усі положення і результати, які виносяться на захист, отримані авторкою самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, дисертантці належать: способи реалізації аналітичного та програмно-апаратного забезпечення контрольного пункту автоматичної локомотивної сигналізації [1, 2]; моделі технологічних об'єктів та підходи щодо їх застосування при контролі функціональних параметрів СКРП [3 – 5, 11, 18]; прогнозні моделі впливу людського і технічного чинників на експлуатаційну надійність СКРП [6]; обґрунтування та формалізація впливу інтерактивної взаємодії різного роду персоналу на безпеку використання ергатичних СКРП [7, 10, 12, 17]; модель оцінки глибини контролю функціональних параметрів СКРП, взаємозалежність показників готовності й відновлення та ефективності контролю функціональних параметрів СКРП [8]; методи та процедури випробувань мікропроцесорних СКРП [9, 13, 16, 19, 24]; опрацювання та систематизація результатів імітаційного моделювання мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів [14]; методи контролю функціональних параметрів мікропроцесорних систем автоматичної переїзної сигналізації [15]; графоаналітичні способи моделювання розподілених СКРП [20]; спосіб автоматизованого проектування моделей для випробувань СКРП, базований на графо-функціональному моделюванні [21]; графоаналітичний метод ідентифікації та диференціації об'єктів контролю [22]; способи контролю функціональних параметрів СКРП в умовах термінального доступу оперативного і технічного персоналу [23]; програмно-реалізовані способи визначення координат рухомих об'єктів при контролі їх кінематичних параметрів [25 – 27].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на таких наукових конференціях:

- IX міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми безпеки на транспорті» (м. Гомель, Республіка Білорусь, 2019 р.);
- III міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження» (м. Івано-Франківськ, Україна, 2019 р.);
- всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених «ТАК: Телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології» (м. Покровськ, Україна, 2018 р.);
- 29-й, 30-й, 31-й міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (м. Чорноморськ, Україна, 2016 р.; м. Одеса, Україна, 2017 р.; м. Харків, Україна, 2018 р.);
- X ювілейній міжнародній науково-практичній конференції «Free and open source software» (м. Харків, Україна, 2018 р.);
- VI міжнародній науково-практичній конференції «Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті» (м. Чернівці, Україна, 2018 р.);
- II міжнародній науковій конференції «Industry-4.0» (сел. Боровець, Болгарія, 2017 р.).

Повністю дисертація доповідалася, обговорювалася і була схвалена на засіданні кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів та на фаховому семінарі кафедри управління експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту за участю рецензентів.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 27 наукових праць, в т.ч. 8 наукових статей у фахових виданнях, затверджених МОН України, з яких 1 включена до міжнародної наукометричної бази; 1 наукова стаття в іноземному виданні країни – члена ЄС; три додаткові праці (патенти на корисну модель); 15 праць апробаційного характеру (матеріали доповідей на наукових конференціях).

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота оформлена на 244 сторінках, з яких 128 сторінок основного тексту, 47 рисунків, 8 таблиць, список джерел із 201 назви на 23 сторінках і 8 додатків на 63 сторінках.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каменєв О.Ю., Сіроклин І. М., Змій С. О., Щєбликіна О. В. Технологічна проблема регулювання пристроїв автоматичної локомотивної сигналізації моторвагонного рухомого складу. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. Вип. 168. С. 19 – 30.
2. Бойнік А.Б., Каменєв О.Ю., Змій С.О., Щєбликіна О.В., Гаєвський В.В. Дефектування технічного, технологічного та організаційного забезпечення контрольного пункту АЛСН моторвагонного депо. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті: науково-технічний журнал*. 2017. Вип. №13. С. 66 – 80.
3. Бойнік А.Б., Прилипко О.Ю., Каменєв О.Ю., Лазарєв О.В., Щєбликіна О.В. Вибір типу чутливого елемента для точкового колійного датчика. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2017. Вип. № 2. С. 31 – 39.
4. Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Щєбликіна О. В., Лазарєв О.В., Ушаков М.В. Модель диспетчерського керування взаємозалежними транспортними потоками на промисловому залізничному транспорті. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2018. Вип. 182. С. 63 – 79.
5. Voinik, A., Prohunnyi, O., Kameniev, O. Lapko, A., Kuzmenko, D., Shcheblykina O. Development and investigation of methods of graphic-functional modeling of distributed systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 94. № 4 /4. 2018. P. 59-69. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.140636 (видання індексується у базі Scopus).
6. Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Щєбликіна О.В. Прогнозна динаміка впливу людського та технічного чинників на експлуатаційну надійність пристроїв залізничної автоматики. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. 2020. Вип. 40. С. 168 – 178.
7. Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Щєбликіна О.В. Математичні моделі верифікації ергатичних систем засобів залізничної автоматики. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2020. Вип. 4 (151). С. 7 – 14.
8. Щєбликіна О.В., Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Сагайдачний В.Г. Підвищення показників готовності та відновлення систем керування рухом

поїздів на основі збільшення глибини контролю. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2020. Вип. № 2. С. 32 – 42.

9. Kameniev O., Lapko A., Shcheblykina E. Improvement of technologies for the development of modern rail automation systems. *International journal for science, technics and innovations for the industry*. «MACHINES. TECHNOLOGIES. MATERIALS». Sofia, Bulgaria. 2017. Issue 11. P. 533 – 536.

10. Бойнік А.Б., Змій С.О., Каменєв О.Ю., Щєбликіна О.В. Метод та результати моделювання операцій чергового по станції: тези X Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті», м. Дніпро (14 – 15 грудня 2016 р.). – Дніпро: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна. 2016. С. 26.

11. Каменєв О.Ю., Щєбликіна О.В. Удосконалення та формалізація процедур складання технічних завдань розробникам програмного забезпечення систем керування та регулювання руху поїздів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: матеріали доповідей 29-ї міжнародної науково-практичної конференції, м. Чорноморськ (27 – 29 вересня 2016 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. №4 (Додаток). С. 27 – 28.

12. Щєбликіна О.В., Анічін В.В. Використання мобільного додатку автоматизованого робочого місця електромеханіка. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: матеріали доповідей 29-ї міжнародної науково-практичної конференції, м. Чорноморськ (27 – 29 вересня 2016 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. №4 (Додаток). С. 51.

13. Бойнік А.Б., Кустов В.Ф., Щєбликіна О.В., Каменєв О.Ю. Развитие научных основ и практических подходов к обеспечению и доказательству безопасности систем железнодорожной автоматики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: матеріали доповідей 30-ї міжнародної науково-практичної конференції, м. Одеса (20 – 23 вересня 2017 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. №4 (Додаток). С. 71 – 73.

14. Бойник А.Б., Щєблыкина Е.В. Проведение испытаний автоматизированной системы микропроцессорной централизации стрелок и сигналов на функциональную безопасность и безотказность на имитационных

моделях. *Безпека та електромагнітна сумісність на залізничному транспорті*: тези VIII міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернівці (01 – 03 лютого 2017 р.). – Дніпро: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, 2017. С. 17 – 18.

15. Бойнік А.Б., Кустов В.Ф., Каменєв О.Ю., Змій С.О., Щєбликіна О.В. Особливості мікропроцесорного керування переїзною сигналізацією. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*: тези доповідей 79-ї міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», м. Харків (25 – 27 квітня 2017 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (Додаток). С. 4 – 6.

16. Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Щєбликіна О.В. Верифікація програмних засобів, реалізованих мовою релейно-контактної логіки. *Free and open source software*: матеріали X ювілейної міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків (20 – 22 листопада 2018 р.). – Харків: ХНУБА, 2018. С. 68.

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

18. Каменєв О.Ю., Щєбликіна О.В. Вдосконалення процедур синтезу випробувальних моделей залізничної автоматики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів 31-ї міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків (24 – 26 жовтня 2018 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. №4 (Додаток). С. 64 – 65.

19. Щєбликіна О.В., Кузьменко Д. М. Доказ безпечності мікропроцесорної системи напівавтоматичного блокування з радіоканалом. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів 31-ї міжнародної науково-практичної конференції, м. Харків (24 – 26 жовтня 2018 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. №4 (Додаток). С. 66.

20. Лапко А.О., Каменєв О.Ю., Щєбликіна О.В., Сагайдачний В.Г., Панасенко М.О., Кладко А.С. Аналіз способів моделювання розподілених систем. *«ТАК» Телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології*: збірка доповідей

всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, м. Покровськ (30 листопада 2018 р.). – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2018. С. 151 – 153.

21. Щєбликіна О.В., Каменєв О.Ю., Лапко А.О. Автоматизація проектування об'єктів специфічного призначення. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали III міжнародної науково-практичної конференції*, м. Івано-Франківськ (3 – 5 квітня 2019 р). – Івано-Франківськ: Академія технічних наук України, 2019. С. 45.

22. Каменєв О.Ю., Лапко А.О., Щєбликіна О.В. Система тунельної ідентифікації небезпечних об'єктів. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали III міжнародної науково-практичної конференції*, м. Івано-Франківськ (3 – 5 квітня 2019 р). – Івано-Франківськ: Академія технічних наук України, 2019. С. 209.

23. Щєблыкина Е.В., Ушаков М.В. Повышение надежности эксплуатации эргатических систем управления путем применения технологии терминального доступа. Проблемы безопасности на транспорте: материалы IX международной научно-практической конференции, г. Гомель, Республика Беларусь (28 – 29 ноября 2019 г.). Часть 1. – Гомель: БелГУТ, 2019. С. 257 – 259.

24. Kameniev O., Lapko A., Shcheblykina E. Improvement of technologies for the development of modern rail automation systems. *Industry 4.0: Proceedings II International Scientific Conference, Borovets, Bulgaria (13–16 december 2017)*. – Sofia, Bulgaria: Scientific technical union of mechanical engineering “Industry-4.0”, 2017, Vol. 1/1. P. 107 – 110.

25. Пат. на корисну модель 122882, Україна, МПК G01S 17/42 (2006.01) Канал вимірювання радіальної швидкості літальних апаратів з можливістю розпізнавання літальних апаратів для мобільної однопунктної системи зовнішньо-траєкторних вимірювань. О.В.Коломійцев, І.І. Сачук, О.О. Зверєв, О.П. Нарезній, В.О. Павлій, І.В.Помогаєв, А.А. Прилипко, Ю.П. Рондін, М.Л.Троцько, О.В Щєбликіна. Заявка u201709114 від 14.09.2017; опубл. 25.01.2018, бюл. № 2.

26. Пат. на корисну модель 122883, Україна, МПК G01S 17/42 (2006.01) Канал вимірювання кутових швидкостей літальних апаратів з можливістю розпізнавання літальних апаратів для мобільної однопунктної системи зовнішньотраєкторних вимірювань. О.В. Коломійцев, І.І. Сачук, О.О. Зверєв,

Д.В. Молчанов, О. П. Нарезній, В.О. Павлій, А. А. Прилипко, Ю. П. Рондін, М.Л.Троцько, О.В. Щебликіна. Заявка u201709115 від 14.09.2017; опубл. 25.01.2018, бюл. № 2.

27. Пат. на корисну модель 123393, Україна, МПК G01S 17/42 (2006.01) Канал автоматичного супроводження літальних апаратів за напрямком з можливістю розпізнавання літальних апаратів для мобільної однопунктної системи зовнішньо-траєкторних вимірювань. О.В. Коломійцев, І.І. Сачук, С.В. Герасимов, О.О. Зверев, Д.В. Молчанов, О.П. Нарезній, В.О. Павлій, Ю.П. Рондін, М.Л.Троцько, О.В. Щебликіна. Заявка u201709107 від 14.09.2017; опубл. 26.02.2018, бюл. № 4.

28. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р / Кабінет міністрів України. Офіційний вісник України. 2018. № 52. С. 533. Ст. 1848. Код акта 90720/2018.

29. Залізничний транспорт України. URL: <https://mtu.gov.ua/timeline/Zaliznichniy-transport.html> (дата звернення 23.01.2019).

30. Про залізничний транспорт: Закон України. Вводиться в дію Постановою ВР № 274/96-ВР від 04.07.96, ВВР, 1996, N 40, ст. 184 / Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/273/96-%D0%B2%D1%80>.

31. Лапко А.О. Підхід до оцінювання ефективності систем технічного обслуговування пристроїв залізничної автоматики. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. Вип. 157. С. 194 – 200.

32. Leena G., Chetan Singh Vidawat, Nitesh Jha. Automatic Railway System. *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887). 2017. Vol. 159(8). P. 30 – 33. DOI: 10.5120/ijca2017913018.

33. Aripov N., Aliyev R., Baratov D., Ametova E. Features of Construction of Systems of Railway Automatics and Telemechanics at the Organization of High-Speed Traffic in the Republic of Uzbekistan. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 134 P. 175 – 180.

34. Likhota R., Lontsikh P., Drolova E., Karaseva V., Livshitz I. Providing a synergetic effect in the quality improvement of the railway automatics system, MPC

Ebilock 950, maintenance. *Proceedings of the 2017 international conference quality management, transport and information security, information technologies*. 2017. P. 75 – 78. DOI: 10.1109/ITMQIS.2017.8085765.

35. Гаєвський В.В., Каменєв О.Ю. Інтеграція і уніфікація пристроїв та систем залізничної автоматики різного призначення. *Міжнародний техніко-економічний журнал “Українська Залізниця”*. 2019. Вип. №1 (67). С.29 – 31.

36. Про схвалення Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року: Розпорядження Кабінету міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1555-р / Урядовий портал: єдиний веб-портал органів виконавчої влади України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npras/243219821>. (дата звернення 04.12.2016).

37. Про затвердження Стратегічного плану розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року: Наказ Міністерства інфраструктури України від 21.12.2015 р. № 547 / Міністерство інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/documents/443.html>.

38. Про схвалення концепції Державної програми реформування залізничного транспорту: Розпорядження Кабінету міністрів України від 27 грудня 2006 р. № 651-р / Урядовий портал: єдиний веб-портал органів виконавчої влади України. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npras/60705298> (дата звернення 04.02.2017).

39. Чепурна-Кос І. В. Проблеми та напрями реформування залізничного транспорту України. *Економіка та держава*. 2011. Вип. 7. С.98 – 100.

40. Гриценко Н.В. Комплексний огляд реформування залізничного транспорту України. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2012. Вип. № 40. С.89 – 92.

41. Любохинець Л. М. Реформування залізничного транспорту: досвід країн ЄС. *Проблеми економіки транспорту*. 2016. Вип. № 12. С. 77 – 83.

42. Олег Суханик: «Головне завдання господарства – оновлення та розвиток засобів залізничної автоматики та телемеханіки, а провідне призначення – технічне обслуговування та ремонт пристроїв СЦБ та зв'язку» // Центр інформації транспорту України. URL: <https://railway-publish.com/interview/oleg-suhanik-golovne-zavdannya-gospodarstva-onovlennya-ta-rozvitok-zasobiv-zaloznichnoyi->

avtomatiki-ta-telemehaniki-a-providne-prznachennya-tehniche-obslugovuvannya-ta-remont-pristroyiv. (дата звернення 08.12.2017).

43. Про затвердження Правил технічної експлуатації залізниць України: Наказ Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 р. №411 (Про внесення зміни до Правил технічної експлуатації залізниць України: Наказ Міністерства транспорту України від 10 грудня 2003 р. №962) / Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97>.

44. Про затвердження Інструкції з сигналізації на залізницях України: Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 23 червня 2008 р. № 747/ Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0747650-08>.

45. Про затвердження Інструкції з руху поїздів і маневрової роботи на залізницях України: Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 31 серпня 2005 р. №507 / Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0507650-05>.

46. Про затвердження Правил технічної експлуатації залізничного транспорту промислових підприємств: Наказ Промислової політики України від 12 лютого 2010 р. 70 / Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0237-10>.

47. Про затвердження та введення в дію Інструкції з сигналізації на залізничному транспорті промислових підприємств: Наказ Промислової політики України від 13 серпня 2010 р. № 407 / Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0407581-10>.

48. Про затвердження та введення в дію Інструкції з руху поїздів і маневрової роботи на залізничному транспорті промислових підприємств: Наказ Промислової політики України від 13 серпня 2010 р. № 407/Законодавство України. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0407581-10>.

49. Про внесення змін до наказу Міністерства транспорту України від 04 листопада 2003 року № 854 /Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1540-14>.

50. Правила технічної експлуатації метрополітенів України: Наказ Міністерства транспорту України від 4 листопада 2003 р. №854 (у редакції наказу

Міністерства інфраструктури України від 12 листопада 2014 р. № 578. / Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0590-04#n1543>.

51. Інструкція із сигналізації на метрополітенах України : Наказ Міністерства інфраструктури України від 7 листопада 2017 р. № 373 / Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0590-04#n1543>.

52. Басов В.І., Єлисеєв В.В., Петренко О.В., та ін. Мікропроцесорна система централізації МПЦ-У: навчальний посібник для студентів вузів залізничного транспорту. Київ. 2014. 430 с.

53. Мойсеєнко В. І., ред.: Загарія. Г. І. Мікропроцесорні системи залізничної автоматики. Ч. 1. Централізація стрілок та сигналів. Харків. 1999. 147 с.

54. Данько М. І., Мойсеєнко В. І., Рахматов В. З., Троценко В. І., Чепцов М. М. Мікропроцесорна диспетчерська централізація "Каскад" : Навч. посіб – Харків. 2005. 174 с.

55. Разгонов А. П. Модернізовані системи електричної централізації : Навч. посіб. / Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. В.Лазаряна. Дніпропетровськ. 2003. 80 с.

56. Каменєв О.Ю. Удосконалення методів та засобів технічного контролю системи мікропроцесорної централізації: дис ... канд. техн. наук: 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту / Укр. держ. акад. залізн. трансп. Харків, 2014. 258 с.

57. Лапко А.О., Каменєв О.Ю., Сагайдачний В.Г., Коцюб Т.А. Експлуатаційні показники роботи пристроїв залізничної автоматики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2019. Вип. № 3. С. 37 – 44.

58. Олег Бунчуков: «Значна частина пристроїв залізничної автоматики та зв'язку підлягає повній заміні на сучасні пристрої та системи» // Центр інформації транспорту України. URL: <https://railway-publish.com/interview/oleg-bunchukov-znachna-chastina-pristroyiv-zaliznichnoyi-avtomatiki-ta-zv-yazku-pidlyagaye-rovniy-zamini-na-suchasni-pristroyi-ta-sistemi>(датазвернення25.12.2018).

59. Олег Бунчуков: «Сучасні пристрої та технології – запорука підвищення ефективної діяльності господарства» // Центр інформації транспорту України. URL:



<https://railway-publish.com/interview/oleg-bunchukov-suchasni-pristroyi-ta-tehnologiyi-zaporuka-pidvishhennya-efektivnoyi-diyalnosti-gospodarstva> (дата звернення 25.12.2018).

60. Лапко А.О. Удосконалення технічного обслуговування пристроїв електричної сигналізації та централізації шляхом комплексного контролю технічного стану: дис ... канд. техн. наук: 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту / Укр. держ. акад. залізн. трансп. Харків, 2010. 249 с.

61. Залуцький І. Р., Цимбалюк В. М., Шевченко С. Г. Планування і діагностика діяльності підприємств: навч. посібник. Львів : «Новий Світ – 2000», 2009. – 319 с.

62. Аналіз експлуатаційної роботи галузі автоматики, телемеханіки та зв'язку Укрзалізниці за 2010-2019 рр. Київ: Департамент автоматики та телекомунікацій АТ «Укрзаліниця».

63. Кустов В.Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики: навч. посібник для вузів / Харків: УкрДАЗТ, 2008. 218 с.

64. Сапожников Вл.В., Сапожников В.В., Шаманов В.И. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учебное пособие для вузов ж.д. трансп. / Москва. 2003. 263 с.

65. Статистичні дані про Українські залізниці / Міністерство інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-pro-ukrainski-zaliznici.html> (дата звернення: 19.03.2018).

66. Либерман А.Н. Техногенная безопасность: человеческий фактор. Санкт-Петербург : Изд-во "ВИС". 2006. 104 с.

67. Мойсеєнко В.І. Методи та моделі підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики шляхом оперативного виявлення порушень: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту / Харків. Українська державна академія залізничного транспорту: УкрДАЗТ. 2011. 356 с.

68. Каменєв О.Ю. Проблематика підходів до дослідження безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна*. 2013. Вип. 44. С. 7 – 16.

69. Дослідження функційної безпечності та електромагнітної сумісності мікропроцесорної системи електричної централізації станції «Вугільна» на етапі імітаційних та стендових випробувань: звіт з НДР (проміж.) /Харків. УкрДАЗТ; керівник А.Б. Бойнік, 2012. Номер держ. реєстр. 0112U006925; інв. номер 0713U007283.

70. Мармоза А.Т. Теорія статистики: підручник для студентів вищих навчальних закладів // «Центр учбової літератури». Київ. 2013.592 с.

71. Світлична Т.І., Дріль Н.В. Прогнозування: Навчальне видання: Консп. лекції / Харківська національна академія міського господарства. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2010. 112 с.

72. Камінський Р.М., Дмитрів Г.Р. Порівняння методів згладжування часових рядів за критерієм відношення медіан. *Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка"*. Чернівці. 2009. Вип. 653. С. 111 – 116.

73. Ryland H. A Second Generation Electronic Interlocking : International Conference on Advanced Railway Control “Aspect 95”, IRSE. (London, 25-27 September, 1995). London. Sec. 10. P. 35 – 40.

74. Strelow H., Scharfenberg G. Das Mikrocomputersystem SIMIS/MES-80. *Signal+ Draht* 75.1983. Vol. 12. P. 229 – 234.

75. Saykowski R., Schultz E., Blei-diessel J. Programmable Logic Controllers in Railway Interlocking Sys-tems for Regional Lines of the DB Netze AG : Kommunikation in Verteilten Systemen, Kiel, Christian-Albrechts-Univer-sität (8-11 März, Germany). Germany. 2011. P. 205 – 207.

76. Arlat J. Composants COTS et sûreté de fonctionnement: Atelier thématique n°5. Toulouse. 2003. 12 ñ.

77. Böhm P. Das Elektronische Stellwerk ESTW L90 5 Einsatz auf der Strecke Kouvola – Pieksmki in Finnland. *Signal und Draht*. 2000. № 6. S. 26 – 29.

78. Cribbens A., Newing Dh., Ryland Ha. The microprocessor as a railway control system component. *Microprocessors*. 1976. Vol. 1, P. 41 – 47. DOI:10.1016/0308-5953(76)90107-0.

79. Kornaszewski M., Łukasik Z. Analysis of setups of the control of rail microprocessor systems. *Journal of Advances in Electrical and Electronic Engineering*. No. 1-2. Vol. 7/2008. Zilina – Slovak Republic. 2008. pp. 223 – 226.

80. Cribbens AH. Microprocessors in railway signalling: the Solid-State Interlocking. *Microprocessors and Microsystems*. 1987. Vol. 11. P. 264 – 272. DOI: 10.1016/0141-9331(87)90269-9.

81. Pricevicius G., Dainys L., Adomaitis D., Šajev I. Railway segment management information system. *Open Conference of Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream)*. Vilnius. 2016. pp. 1 – 5.

82. Mansour B. Towards Digital Railways – Signalling and Train Control System: The contents of this paper was presented at Rail Solutions Asia conference (in Kuala Lumpur in May 2017). Kuala Lumpur. 2017. URL: <http://www.hssgroup.com.my/2017/12/towards-digital-railways-signalling-and-train-control-system/> (дата звернення: 05.08.2018).

83. Krmac E., Djordjević B. An evaluation of train control information systems for sustainable railway using the analytic hierarchy process (AHP) model. *European Transport Research Review*. 2017. P. 9 – 35. DOI 10.1007/s12544-017-0253-9.

84. Lagerlöf P., Olofsson P., Swedish railway industry and global evolution of digital signalling systems // *Article from Global Review: 190610*. URL: <https://www.swedtrain.org/2019/06/14/swedish-railway-industry-and-global-evolution-of-digital-signalling-systems/> (дата звернення: 05.08.2018).

85. Patalay S. Analysis of Railway Interlocking Systems. *CMC Ltd*. P.1 – 23.

86. Markevicius V., Navikas D., Idzkowski A., Andriukaitis D., Valinevicius A., Zilys M. Practical Methods for Vehicle Speed Estimation Using a Microprocessor-Embedded System with AMR Sensors. *Sensors (Basel)*. 2018. Vol. 18(7): 2225. P. 1 – 12. DOI: 10.3390/s18072225.

87. The digital age of railway signaling // *Railway technology*. 2016. URL: <https://www.railway-technology.com/features/featurethe-digital-age-of-signalling-4699786/> (дата звернення: 04.06. 2019).

88. Tracks into the Future: Digital Signalling and Train Control // Publication Date: Week Commencing the 6th of November 2017. URL: [https://www.smartrailworld.com/tracks\\_into\\_the\\_future\\_digital\\_signalling\\_and\\_train\\_control](https://www.smartrailworld.com/tracks_into_the_future_digital_signalling_and_train_control) (дата звернення: 22.07.2018).

89. Digital Signalling & Train Control In-Depth Focus 2018 // Global Railway Review. 2018. URL: <https://www.globalrailwayreview.com/article/75634/digital-signalling-train-control-in-depth-focus-2018/> (дата звернення: 17.09.2019).

90. Fei Yan, Chunhai Gao, Tao Tang, Yao Zhou, A Safety Management and Signaling System Integration Method for Communication-Based Train Control System. *Urban Rail Transit*. 2017. Vol 3. Issue 2. P. 90 – 99.

91. Bickell MirseD. Improving performance and capacity on the railway. *Railengineer*. 26<sup>th</sup> march. 2018. URL: <https://www.railengineer.co.uk/2018/03/26/improving-performance-and-capacity-on-the-railway/> (дата звернення: 19.03.2014).

92. Australia's train signalling set to go digital. *ITnews*. Aug 28 2015. URL: <https://www.itnews.com.au/news/australias-train-signalling-set-to-go-digital-408467> (дата звернення: 19.10.2019).

93. Marais J., Beugin J., Verbineau M. A Survey of GNSS-Based Research and Developments for the European Railway Signaling. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2017, Vol. 10 (18). P. 2602 – 2618.

94. Колесник А.И., Проектирование микропроцессорных систем железнодорожной автоматики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: матеріали доповідей 24-ї Міжнародної науково-практичної конференції, м. Алушта. 2011. Вип. № 5. С. 141.*

95. Вохминцев С.В., Семчук Р.В., Гуль А.О. Концепция информационного обеспечения железнодорожного транспорта. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2011. Вип. № 5. С. 27 – 31.*

96. Кузьменко Д.М. Модернізація пристроїв залізничної автоматики. *Залізничний транспорт України. 2009. Вип. № 4. С.51 – 53.*

97. Кошевий С.В. Романчук В.Б. Сучасні інформаційні технології в системах залізничної автоматики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2011. Вип. № 4. С. 91 – 98.*

98. Чалый А.А., Особенности реализации программного обеспечения микропроцессорной системы электрической централизации стрелок и сигналов поста «Южный». *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті:*

матеріали доповідей 21-ї Міжнародної науково-практичної конференції, м. Алушта. 2008. Вип. № 4 (Додаток). 34 с.

99. Нейчев О.В., Особенности построения аппаратных средств МПЦ-Д поста «Южный». *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: матеріали доповідей 21-ї Міжнародної науково-практичної конференції, м. Алушта. 2008. Вип. № 4 (Додаток). 36 с.

100. Мікропроцесорна централізація. URL: <http://rwa.ua/resheniya/promyishlennyiy-zheleznodorozhnyiy-transport/mpts.html?lang=uk> (дата звернення: 09.11.2019).

101. Автоматизована система мікропроцесорної централізації для промислового транспорту. Copyright by Ipra-Soft Designed by Ipra-Soft. 2016. URL: [http://www.ipra-soft.com/mpc\\_tr\\_u.html](http://www.ipra-soft.com/mpc_tr_u.html) (дата звернення: 03.12.2019).

102. Інноваційні мікропроцесорні системи управління рухом поїздів від RWA. *Журнал «Залізничне постачання»*. 2019. Вип. №1. С. 30 – 33.

103. Розроблення заходів із підвищення надійності та безпечності функціонування мікропроцесорних систем залізничної автоматики: звіт про НДР (заключний) / Харків. Український державний університет залізничного транспорту; кер. А. Бойнік; викон.: О. Каменєв [та ін.], номер держреєстрації 0116U004891. Харків, 2018.

104. Розроблення системи підтримки прийняття рішень з організації перетинань потоків різних видів транспорту»: звіт про НДР (заключний) / Харків. Український державний університет залізничного транспорту; кер. А. Бойнік; викон.: О. Каменєв [та ін.], номер держреєстрації 0115U000274. Харків, 2016.

105. Науково-практичний підхід підвищення безпеки дорожнього руху на залізничних переїздах: звіт про комплексну НДР (заключний) / Харків. Харківський національний автомобільно-дорожній університет; кер. І. Наглюк; викон.: О. Каменєв [та ін.], номер держреєстрації 0115U03272, 0115U00274. Харків, 2016.

106. Kutsenko M., Ohar O., Rozsokha O., Smachilo Yu. Evaluation of the railway traffic safety level using the additive resultant indicator. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. №6/3 (90). 2017. P. 48 – 57.

107. Rojko A. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. ECPE European Center for Power Electronics e.V.. Nuremberg. Germany. 2017. Vol. 11 № 5. P. 77 – 90.

108. Kans M., Galar D., Thaduri A. Maintenance 4.0 in Railway Transportation Industry. A data fusion approach of multiple maintenance data sources for real-world reliability modeling. 2016. P.317 – 331 DOI: 10.1007/978-3-319-27064-7\_30.

109. Shukla D. Industry 4.0 Solutions For New-Age Railways And Airways. 2019. URL:<https://electronicsforu.com/technology-trends/tech-focus/industry-4-solutions-railways-airways> (дата звернення: 28.12.2019).

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

111. Kanso K., Moller F., Setzer A. Automated Verification of Signalling Principles in Railway Interlocking. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science Systems*. 2009. Vol. 250, Issue 2. P.19 – 31. DOI:10.1016/j.entcs.2009.08.015.

112. Sener I., Kaymakc O. T. , Usto Glu 'I, , Cansever G. Specification and formal verification of safety properties in a point automation System. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*. 2016. Vol.24 P. 1384 – 1396. DOI:10.3906/elk-1311-27.

113. M.Aanæs Hoang Phuong Thai. Modelling and Verification of Relay Interlocking Systems. Technical University of Denmark Informatics and Mathematical Modelling Denmark. Kongens Lyngby. 2012. P. 360.

114. Fantechi A., LecomteT., Romanovsky A. Reliability, Safety, and Security of Railway Systems. Modelling, Analysis, Verification, and Certification: second International conference, RSSRail, 2017 Pistoia, Italy, November 14 – 16, 2017 Proceedings. 2017. Pistoia. Italy. P. 217. DOI: 10.1007/978-3-319-68499-4.

115. Про затвердження інструкції з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) ЦШ-0060: Наказ Державної адміністрації залізничного транспорту України 07.10.2009 № 090-ЦЗ / Головне управління автоматики, телемеханіки та зв'язку. Київ. 2009.

116. Про затвердження технологічного процесу обслуговування ЦШ/0042: Наказ від 26.04.2006 № 347-ЦЗ. / Затверджений наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України.

117. Про затвердження типового проекту організації роботи ремонтно-технологічної дільниці дистанції сигналізації та зв'язку: Наказ від 08.11.2006

№ 664-ЦЗ / Затверджений наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України.

118. Самсонкин В.Н., Бойник А.Б., Прогонный А.Н. К вопросу эффективного управления работой дистанции сигнализации и связи. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2018. Вип. № 16. С. 95 – 105.

119. Розроблення заходів із підвищення надійності та безпечності функціонування мікропроцесорних систем залізничної автоматики: звіт про НДР (остаточний) / Харків. Український державний університет залізничного транспорту; кер. А.Б. Бойнік; викон.: О.В.Щебликіна [та ін.]. № держреєстрації 0116U004891. Харків, 2018. Розділ 4.

120. Проведення експертизи технічних рішень та методики розрахунку регулювальних таблиць тональних рейкових кіл. / Харків. Український державний університет залізничного транспорту; кер. Мороз В.П.; викон.: О.В.Щебликіна [та ін.]. Додаток В ,пп.2.1, 2.2.

121. V. Samsonkin, O. Goretskyi, V. Matsiuk, V. Myronenko, A. Voinik, V. Merkulov. Development of an approach for operative control over railway transport technological safety based on the identification of risks in the indicators of its operation. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. Вип. 6/3 (102) 2019. С. 6 – 14.

122. Hwang J.-G., Baek J.-H., Jo H.-J., Lee K.-M. Black-box testing tool of railway signalling system software with a focus on user convenience.. *WIT Transactions on The Built Environment*. Korea. 2014. Vol 135. P. 99-108. DOI:10.2495/CR140081

123. Short R.C. Software Validation for a Railway Signalling System. *IFAC Proceedings*. 1983. Vol.16. Issue 18., P. 183 – 193.

124. Chen X., Wang D., Huang H., Wang Z. Verification and validation in railway signalling engineering – an application of enterprise systems techniques. *Enterprise Information Systems*. 2014. Vol. 8:4 P. 490-511. DOI: 10.1080/17517575.2013.835071.

125. Testing and Commissioning of Signalling and Operational Telecommunications Systems. *Railway Group Standard*. December 2000. P. 5 – 45.

126. Каракаев А.Б., Луканин А.В. Исследование основных зависимостей между показателями надежности и показателями глубины контроля судового электрооборудования. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. 2016. Вып. 3 (37). С.180 – 192.

127. Takashige T. Signalling Systems for Safe Railway Transport. *Japan Railway & Transport Review* 21. September 1999. Technology. 1999.Japan. P. 44-50.

128. Busard S., Cappart Q., Limbrée C. Pecheur C., Schaus P. Verification of railway interlocking systems. 4th International Workshop on Engineering Safety and Security Systems 2015 (ESSS'15) EPTCS 184.2015. 2015. Belgium. P. 19 – 31, doi:10.4204/EPTCS.184.2.

129. Bonacchi A. Fantechi A., Bacherin S. ; Tempestini M. Validation process for railway interlocking systems. *Science of Computer Programming*. 2016. Italy. Vol. 128. P. 2 – 21 DOI:10.1016/j.scico.2016.04.004.

130. Fantechi A., Fokkink W., Morzenti A. Some Trends in Formal Methods Applications to Railway Signaling. Italy. November 2012. P.1 – 20. DOI: 10.1002/9781118459898.ch4.

131. Amparo Morant Estevan, Dependability and Safety Evaluation of Railway Signalling Systems Based on Field Data. *Doctoral thesis: Operation and Maintenance Engineering* Luleå University of Technology Luleå, Sweden. 2015. ISSN 1402-1544.

132. Иванов Д.Е., Громова Т.В., Швецова-Шиловская Т.Н. Автоматизированный анализ контролепригодности систем контроля технологического оборудования на опасных производственных объектах. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение»*. Москва, 2016. № 3. С. 114 – 128. DOI: 10.18698/0236-3933-2016-3-114-128.

133. Nowakowski W., Wojarczak P., Lukasik Z. Verification and Validation of Railway Control Systems Using an Expert System. *Intelligent Transport Systems – From Research and Development to the Market Uptake: First International Conference, INTSYS 2017*, Hyvinkää, Finland, November 29-30, 2017, Proceedings. P.43 – 52

134. Luteberget B., Johansen C. Efficient verification of railway infrastructure designs against standard regulations. *Formal Methods in System Design*. February 2018, Volume 52, Issue 1, pp. 1 – 32.



135. Moiseenko V., Kameniev O., Butenko V., Gaievskiy V. Determination model of the apparatus state for railway automatics with restrictive statistical data. *Procedia Computer Science*. Kharkiv. Vol.149, 2019. P. 185 – 194. DOI:10.1016/j.procs.2019.01.122.

136. Moiseenko V., Kameniev O., Gaievskiy V. Predicting a technical condition of railway automation hardware under conditions of limited statistical data. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. jun. 2017. Vol. 3. №. 9 (87). P. 26 – 35,. ISSN 1729-4061.

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

138. Samsonkin V. M., Goretsky O.A. Planning Method of the Traffic Safety Activities in Transport Systems Based On Risk Management . *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*. Vol. 19, Issue 8. Ver. II. (August 2017). P. 53 – 58.

139. Каменєв О. Ю. Удосконалення методів контролю параметрів системи мікропроцесорної централізації. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: науково-технічний журнал. Харків: УкрДУЗТ. 2013. Вип. №3. С. 75 – 77.

140. Кусайко А. І. Дослідження показників надійності МПЦ. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2012. Вип. № 4. С. 55 – 62. DOI: <https://doi.org/10.15802/ecst2012/50882>.

141. Samsonkin V., Petinov Ja. Development of the method of efficient monitoring of the main activity of a train driver. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2016. № 6/3(78). С.52 – 59.

142. Бочков К.А., Харлап С.Н., Сивко Б.В. Разработка отказоустойчивых систем на основе диверситетных аксиоматических базисов. *Автоматика на транспорте*. 2016. Вып. №1 (2). С.47-64.

143. Бочков К.А., Харлап С.Н., Шевченко Д.Н. Методы и средства доказательства функциональной безопасности микроэлектронных систем железнодорожной автоматки. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. Днепропетровск: ДНУЗТ. 2011. Вып. № 2. С. 73 – 81.

144. Сивко Б.В. Методика доказательства безопасности программного обеспечения микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. *Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт*. 2014. № 2 (29). С. 21 – 27.

145. РД РБ БЧ 19.055-99. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие положения, порядок и методы проведения испытаний на безопасность. Минск, 1999. 20 с.

146. РД РБ БЧ 19.057-99. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие положения, порядок и методы доказательства безопасности систем и устройств ЖАТ. Минск, 1999. 20 с.

147. Памятка ОСЖД Р-800 от 16.11.2011 г. Основные эксплуатационно-технические требования к устройствам СЦБ железных дорог членов ОСЖД. Варшава, 2001. 16 с.

148. Брабанд Й., Хирао Ю., Людеке Д.Ф.. Взаимосвязь между стандартами CENELEC в области железнодорожной сигнализации и другими стандартами по безопасности. URL:<http://www.ibtrans.ru/upload/iblock/252/25224179d2f031147bf4a113e91b4411.pdf> (дата звернення: 19.03.2017).

149. Traussing, R. Safety-Critical Systems: Processes, Standards and Certification: for the Seminar “Analysis, Design and Implementation of Reliable Software” . Paderborn: Universität Paderborn, 2004. P. 17.

150. Griebel, S. Sicherheitsnormen im Umbruch. Revision der EN 5012X Suite. Siemens AG: Industry Sector, Mobility Division. 2008. P. 20.

151. Peter, B. The Concepts of IEC 61508. An Overview and Analysis. Bielefeld: RVS, 2005. 52 p.

152. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробовування. Київ: Державний комітет України з питань техногенного регулювання та споживчої політики, 2003. 32 с.

153. Памятка ОСЖД Р-858 от 09.11.2006 г. Основные принципы обеспечения безопасности и безотказности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Варшава, 2006. 24 с.

154. Методика доказу функціональної безпеки мікроелектронних комплексів систем керування та регулювання рухом поїздів. Затв. наказом «Укрзалізниці» від 17.08.2002 р. № 452-Ц. Київ.: Вид. ПП «Алькор», 2002. 106 с.

155. Moiseenko V., Kameniev O., Gaievskiy V. Interactive approaches to the organization off staff interaction with automated control/ V International Scientific Technical Conference «Engineering. Technologies. Education. Security'2017»: Proceedings . Vol. 2. Technics and Technologies. Information Technologies, Natural and Mathematical Sciences. 31.05.2017 – 03.06.2017, Veliko Tarnovo. – Sofia, Bulgaria: Scientific technical union of mechanical engineering “Industry-4.0”, 2017. P. 221 – 224.

156. Формування теоретичних засад підвищення ефективності використання інформаційно-керуючих систем на залізничному транспорті. кер. В. Мойсеєнко; викон.: В. Бутенко [та ін.]. номер держреєстрації 0116U000787. Харків, 2016.

157. ДСТУ 3021–95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. Київ.: Держстандарт України. 1995. 71 с.

158. Бочков, К.А., Харлап С.Н. Методы обеспечения безопасности в микропроцессорных системах железнодорожной автоматики и телемеханики: учебное пособие для студентов транспортных специальностей высших учебных заведений. Гомель: БелГУТ. 2001. 84 с.

159. Cliff O., Prokopenko M., Fitch R. Minimising the Kullback-Leibler Divergence for Model Selection in Distributed Nonlinear Systems. *Entropy*. 2018. Vol. 20, Iss. 2., P. 1 – 28.

160. Zrafi R., Ghedira S., Besbes K. A Bond Graph Approach for the Modeling and Simulation of a Buck Converter. *Journal of Low Power Electronics and Applications*. 2018. Vol. 8. Iss. 1. P. 1 – 11.

161. Małecki K. Graph Cellular Automata with Relation-Based Neighbourhoods of Cells for Complex Systems Modelling: A Case of Traffic Simulation. *Symmetry*. 2017. Vol. 9, Iss. 12. P. 1 – 23.

162. Holder K., Zech A., Ramsaier M. Model-Based Requirements Management in Gear Systems Design Based On Graph-Based Design Languages. *Applied Sciences*. 2017. Vol. 7, Iss. 11. P. 1 – 24.

163. Chen Y., Y. Guo, Wang Y. Modeling and Density Estimation of an Urban Freeway Network Based on Dynamic Graph Hybrid Automata. *Sensors*. 2017. ,Vol. 17, Iss. 7., P. 1 – 24.
164. Zhang, H., Lu F. GSMNet: A Hierarchical Graph Model for Moving Objects in Networks. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2017. Vol. 6, Iss. 3. P. 1 – 23.
165. Liu J. The Treewidth of Induced Graphs of Conditional Preference Networks Is Small. *Information*. 2017. Vol. 7, Iss. 1. P. 1 – 13.
166. Listrovoy S., Panchenko S., Listrova E. Mathematical models in computer control systems railways and parallel computing: monograph. Kharkiv. 2017. 300 p.
167. Zhou G., Feng W., Zhou Q., Zhou H. State Tracking and Fault Diagnosis for Dynamic Systems Using Labeled Uncertainty Graph . *Sensors*. 2015. Vol. 15, Iss. 11. P. 2831 – 2851.
168. Huynh-The T., Banos O., Le B. Traffic Behavior Recognition Using the Pachinko Allocation Model. *Sensors*. 2015. Vol. 15, Iss. 7. P. 16040 – 16059.
169. Santone A., Vaglini G. Model Checking Properties on Reduced Trace Systems. *Algorithms*. 2014. Vol. 7, Iss. 3. P. 339 – 362.
170. Csiszar V., Hussami P., Komlos J. Testing Goodness of Fit of Random Graph Models . *Algorithms*. 2012. Vol. 5, Iss. 4. P. 629 – 635.
171. Lu M, Cornel C., Prasenjit S. Content Sharing Graphs for Deduplication-Enabled Storage Systems. *Algorithms*. 2012. Vol. 5, Iss. 2. P. 236 – 260.
172. Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В., Березовый Н. И. Комплексный анализ железнодорожной инфраструктуры металлургического комбината на основе графоаналитического моделирования. *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна «Транспортні системи і технології перевезень»*. Дніпропетровськ. 2012. Вип. 4. С. 55 – 60.
173. Bobrovskiy V. I., Kozachenko D. N., Vernigora R. V. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata . *Transport Problems: The Silesian University of Technology, Faculty of Transport, Katowice, Poland*. 2014. Vol. 9, Iss. 3. P. 57 – 66.

174. Каменєв О.Ю. Оцінка ефективності комбінованих випробувань мікропроцесорної централізації за критерієм мінімуму обладнання. *Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 38. С. 33 – 44.

175. Missbauer H., Uzsoy R. Production Planning with Capacitated Resources and Congestion: monograph / H.Missbauer, R.Uzsoy; Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature. 2020. P.80. DOI: 10/1007/978-1-0716-0354-3\_1.

176. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. Киев: Техніка, 1977. 768 с.

177. Кокурин И.М., Кондратенко Л.Ф. Эксплуатационные основы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: учеб. для вузов ж.-д. трансп. Москва: Транспорт, 1980. С.168.

178. Полякова О.М. Логістичний підхід до взаємодії магістрального і промислового залізничного транспорту. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. Харків. 2015. Вип. 49. С. 199 – 203.

179. Campos J., Cantos P. Rail Transport Regulation. *Economic Development Institute of the World Bank*. 2017. P. 66.

180. Corman F., Real-time Railway Traffic Management: dispatching in complex, large and busy railway networks. *TRAIL Thesis Series T2010/14, the Netherlands TRAIL Research School*. 2010. P. 212.

181. Miao Y., Research on Centralized Dispatching System of Rail Transit . 2018 *International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City (ICITBS)*. Xiamen, Fujian, China, 2018. P. 34 – 37.

182. Krasemann, J. Computational decision-support for railway traffic management and associated configuration challenges: An experimental study. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 2015. Vol. 5. № 3. P. 95 – 109.

183. Долгополов П.В., Головка Т.В., Галишинець Т.В. Удосконалення диспетчерського керівництва дільниці на основі прогнозного моделювання перевізного процесу. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2015. Вип. 49 (1158). С. 36 – 39.

184. Волков В.П., Мырхалыков Ж.У., Грицук И.В., Никонов О.Я., Сатаев М.И., Волков Ю.В., Саипов А.А. Интеллектуальные и телематические

технологии на транспорте: монография / Под ред. д-ра техн. наук. профессора Волкова В.П. Шымкент: Изд-во ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2016. С. 508.

185. Liudvinavičius, Dailyka S., Sladkowski A. New possibilities of railway traffic control systems. *Transport Problems*. 2016. Vol. 11. Iss. 2. P. 133 – 142.

186. Kara, T. Cengiz Savaş M. Design and Simulation of a Decentralized Railway Traffic Control System. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. 2016. Vol. 6. No. 2. P. 945 – 951.

187. Luan X., Schutter B. D., Boom T. Distributed optimization for real-time railway traffic management. *IFAC PapersOnLine* 51-9. 2018. P. 106 – 111.

188. Ajanović, Z. Stolz M, Horn M. A novel model-based heuristic for energy-optimal motion planning form automated driving . *IFAC PapersOnLine* 51-9. 2018. P. 255 – 260.

189. Rupp, A. Stolz M., Horn M. Decentralized Cooperative Merging using Sliding Mode Control. *IFAC PapersOnLine* 51-9. 2018. P. 349 – 354.

190. Білявський В. М. Організація системи диспетчеризації операційної діяльності підприємств. *Вісник Львівської комерційної академії*. 2014. № 45. С. 27 – 32.

191. Калінін О. В., Калінін О. В. Операційний менеджмент якості на підприємствах в межах реалізації його інноваційного розвитку. *Теоретичні і практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності*. 2013. Вип. 2 (1). С. 218 – 224.

192. Rota B., Simic M. Traffic Flow Optimization on Freeways. *Procedia Computer Science*. 2016. Vol. 96. P. 1637 – 1646.

193. Gu G., Perdisci R., Zhang J. BotMiner: Clustering Analysis of Network Traffic for Protocol- and StructureIndependent Botnet Detection . *USENIX Association. 17th USENIX Security Symposium*. 2008. P. 139 – 154.

194. Loiseau P., Primet P., Gonçalves P. A Long-Range Dependent Model for Network Traffic with Flow-Scale Correlations. *Stochastic Models*. 2011. Vol. 27. Iss. 2. P. 333 – 361.

195. Cremer M., Ludvig J. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations *M. Cremer, Mathematical Computer Simulation*. 1986. Vol. 28. P. 297 – 303.

196. Скалозуб В.В., Паник Л.А. Многокритериальные модели задачи анализа транспортных сетей с учетом специализированных свойств носителей потоковгриц. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2010.

№ 4. С. 15 – 21.

197. М.Ф. Дмитриченко, В.П. Матейчик, В.П. Волков, О.К. Грищук, М.П. Цюман, І.В. Грицук, Г.О.Вайганг, О.А.Клименко. Програмне забезпечення систем моніторингу транспорту: монографія / Під редакцією Дмитриченка М.Ф. Київ: Вид-во НТУ «КПІ».2016. 204 с.

198. Жалак, М. І., Триус Ю. В. Основи теорії і методів оптимізації: навч. Посібник. Черкаси : Брама-Україна. 2005. 608 с.

199. Кустов В. Ф., Каменев А. Ю. Экспериментально-статические модели распределённых технологических объектов. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2013. № 2. С. 97-101.

200. Грицук І.В., Волков В.П., Худяков І.В., Симоненко Р.В., Володарець М.В. Особливості формування системи дистанційного визначення працездатності та безпеки експлуатації транспортних засобів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 19, т. 4. – с. 298 – 309.

201. Шаманов В.И. Ягудин Р.Ш., Ведерников Б.М. Эффективность технических мероприятий по повышению надежности действующих устройств автоматики и телемеханики. *Автоматика, телемеханика, связь*. 1990. Вып. №6. С. 30 – 32.