

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

ГАЄВСЬКИЙ ВІТАЛІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 656.25:681.05.015

ДИСЕРТАЦІЯ

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

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

В.В. Гаєвський

Науковий керівник

МОЙСЕЄНКО Валентин Іванович,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Гаєвський В. В. Удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації на основі оперативної ідентифікації та локалізації порушень. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту (275 – транспортні технології). – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2021.

Дисертацію присвячено питанням удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації на основі оперативної ідентифікації та локалізації порушень. Це дасть змогу зменшити час на пошук, ідентифікацію та локалізацію порушень нормальної роботи систем мікропроцесорної централізації (МПЦ) з урахуванням процесів їх технічного обслуговування (ТО).

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в розв’язанні задачі удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації за рахунок оперативної ідентифікації пошкоджень техніки і помилок персоналу та локалізації можливих негативних наслідків небезпечних подій.

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

Вперше:

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

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

Удосконалено:

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

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

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

Дістали подальшого розвитку:

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

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

Практичні значення результатів роботи впливають з її прикладної спрямованості, принципової можливості технічної реалізації запропонованих методів і моделей полягають у такому: за рахунок використання методу Марківського аналізу сформовано багатовимірний функціонал надійності та безпечності, що дає можливість визначати стан системи мікропроцесорної централізації в довільні моменти часу з урахуванням параметрів зношення елементів та врахуванням мінливостей інтенсивності відмов компонентів, що забезпечує визначення передвідмовних станів.

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

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, подано її загальну характеристику.

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

Проведено аналіз наукових праць у предметній області: науково-методологічні основи надійності та функційної безпечності систем автоматизації і, зокрема пристроїв залізничної автоматики; методик оцінки та керування ризиками; питань удосконалення методів і моделей оцінювання технічного стану та уніфікації методології розроблення й конфігурування програмного забезпечення систем мікропроцесорної централізації; проблеми інтерактивної взаємодії людини і технічних засобів при вирішенні задач комплексної оцінки та ідентифікації технічного стану системи мікропроцесорної централізації; дослідження математичних моделей структур мікропроцесорних централізацій.

Більшість досліджень вирішують окремі питання оцінювання технічного стану системи мікропроцесорної централізації, але всі відомі методи і моделі не

припускають застосування поточної оцінки їх показників у процесі її функціонування, також відсутній комплексний підхід до оцінки їх технічного стану в ході експлуатації. Тому актуальним є розроблення та удосконалення методів ідентифікації та оперативної локалізації небезпечних подій з урахуванням інших можливих порушень, які в сукупності з виявленими можуть привести до небезпечних наслідків з урахуванням можливих помилок людини – оператора в процесі експлуатації систем МПЦ.

За результатами дослідження сформульовано мету та завдання дисертаційної роботи, які передбачають розробку комплексу методів і моделей що забезпечують виявлення порушень в технічній експлуатації систем мікропроцесорної централізації, як сукупність можливих змін в апаратній частини, прикладному програмному забезпеченні (ППЗ) і при виконанні ТО, на більш ранній стадії, їх подальшу ідентифікацію, оцінку та локалізацію.

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

Для цього формалізовано опис логіки роботи систем залізничної автоматики (ЗА) та удосконалено модель визначення небезпечного стану процесу технічної експлуатації системи мікропроцесорної централізації, яка на відміну від відомих, забезпечує оперативне виявлення небезпечних станів та забезпечує дотримання безпечної процедури роботи людино-машинної системи при нештатних ситуаціях.

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

Досліджено безпечності та надійності прикладного програмного забезпечення (ППЗ) системи мікропроцесорної централізації та удосконалено

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

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

Розроблено метод та процедуру інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів, яка забезпечує розширення функційних можливостей та підвищення функційної безпечності систем мікропроцесорної централізації за рахунок ідентифікації та наступного блокування небезпеки. Запропанована блок-схема реалізації цієї інтерактивної взаємодії з можливістю аналізу і контролю фактичних дій персоналу та можливістю коригувати свою роботу у випадках неякісного обслуговування або непідтвердження виконання регламентних дій, чого позбавлені існуючі системи мікропроцесорної централізації.

Для реалізації системної інтеграції та уніфікації систем мікропроцесорної централізації досліджено структури сучасних МПЦ і створена модель, що відображає взаємодії між елементами структури, оцінку їх взаємних впливів, і дає можливість виявлення «слабких» місць у структурі та провести аналіз поведінки систем та ін. Удосконалено метод оцінювання структур окремих систем мікропроцесорної централізації на основі теорії графів з використанням матриць суміжності та матриці відстані, який, на відміну від відомих, дає змогу визначити найбільш навантажені елементи структури в процесі технічної експлуатації та оперативно вжити заходів щодо забезпечення живучості системи при пошкодженні її окремих елементів.

Розроблені методи і моделі забезпечують зменшення небезпечних відмов на 12,7 %. Адекватність розроблених моделей підтверджується шляхом тестування з подальшим порівнянням еталонних і фактичних результатів її функціонування - результатами експлуатаційних випробувань МПЦ «Залізничавтоматика». Розбіжність теоретичних даних з результатами спостережень не перевищує 15 %.

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

Удосконалено модель показників функційної безпечності компонентів станційних систем яка, на відміну від існуючих, враховує мінливість інтенсивності відмов у процесі їх життєвого циклу, що дає змогу розширити межі застосування експоненціального закону розподілу при визначенні технічного стану системи. Отримано можливість визначити інтенсивності небезпечних відмов не тільки для МПЦ у цілому та її окремих вузлів, а і для схем керування елементами топологічного розвитку станції, що безпосередньо беруть участь у формуванні та реалізації станційних маршрутів. Сформовано багатовимірний функціонал надійності або безпечності, що дозволяє прогнозувати стан МПЦ у різних часових точках, та отримано моделі за допомогою пакета прикладних програм математичного моделювання MATLAB 6.0.

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

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

Такі показники підтверджують доцільність впровадження розроблених методів та моделей ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації в економічному відношенні.

Практичне значення результатів роботи підтверджено відповідними актами впровадження в ТОВ «НВП «Залізничавтоматика», КП «Київський метрополітен», ТОВ «КИЇВМЕТРОПРОЕКТ» та в навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту при підготовці бакалаврів та магістрів зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, а також у Центрі навчально-практичної підготовки, професійної та дуальної освіти (ЦНПП).

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

ABSTRACT

Gaievskiy V. V. Improvement of technical operation of microprocessor centralization systems on the basis of operative identification and localization of violations. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.22.20 - operation and repair of means of transport (275 – Transport Technologies). - Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the issues of improving the technical operation of microprocessor centralization systems on the basis of operative identification and localization of violations. This will reduce the time for searching, identification and

localization of violations of the normal operation of the MCS, taking into account the processes of their maintenance (MA).

The scientific novelty of the results of the dissertation research is to solve the problem of improving the technical operation of microprocessor centralization systems by quickly identifying equipment damage and personnel errors and localization of possible negative consequences of dangerous events.

Specific scientific results obtained by the author personally are as follows:

First:

- developed a method to ensure the safety of the microprocessor centralization system, which allows to localize dangerous conditions of critical objects of station infrastructure by identifying changes in parameters and procedures of their operation and assessing the risk of loss in accordance with a possible scenario of dangerous situation;

- developed a method and procedure for interactive interaction of personnel and software and hardware, which provides the expansion of functionality and increase the functional security of microprocessor centralization systems through the identification and subsequent blocking of hazards.

Improved:

- model of determining the dangerous state of the process of technical operation of the microprocessor centralization system by increasing the basic model of the graph of its states, which, unlike the known ones, provides prompt detection of dangerous states and ensures safe operation of human-machine system in emergency situations;

- a method for assessing the technical condition of microprocessor equipment of station centralization under existing limitations in damage statistics, which, in contrast to the known, allows to determine the probability of damage or other defect of electronic equipment and reduce the assessment procedure to probabilistic assessment of integrity of equivalence class on a structural and functional basis;

- a method for estimating the structures of individual microprocessor centralization systems based on graph theory using adjacency matrices and distance

matrices, which, unlike the known ones, allows to determine the most loaded elements of the structure during technical operation and promptly take measures to ensure system survivability. elements.

Received further development:

- model of operative definition of safety indicators at formation of train and shunting routes on the basis of the structural functions describing logic of work of centralization systems which, unlike existing, allows to estimate in real time level of safety or danger, for a concrete route on the basis of statistical data on failure parameters of control objects that are included in it;

- a model of indicators of functional safety of components of station systems which, in contrast to existing ones, takes into account the variability of failure intensity during their life cycle, which allows to expand the application of the exponential distribution law in determining the technical condition of the system.

The practical significance of the results follows from its applied orientation, the fundamental possibility of technical implementation of the proposed methods and models is as follows: due to the method of Markov analysis formed a multidimensional functional of reliability and security, which allows to determine wear of elements and taking into account the variability of the failure rate of components, which provides a definition of pre-failure states.

According to the dissertation topic, 17 scientific papers were published, including seven articles in professional scientific journals approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine (three of them are included in international scientometric databases, including two in the Scopus database), ten approbation papers, ten additional papers.

In the introduction the relevance of the topic of the dissertation is substantiated, the purpose and tasks of the research are formulated, the scientific novelty and practical significance of the obtained results are stated, its general characteristic is given.

The first section presents the results of the study of the causes and consequences of violations in the operation of railway automation systems, analysis of their condition and ability to perform the established functions.

The analysis of scientific works in the subject area is carried out: scientific and methodological bases of reliability and functional safety of automation systems and, in particular, devices of railway automation; risk assessment and management techniques; issues of improvement of methods and models of assessment of technical condition and unification of methodology of development and configuration of software of microprocessor centralization systems; problems of interactive interaction of the person and technical means at the decision of problems of a complex estimation and identification of a technical condition of system of microprocessor centralization; research of mathematical models of structures of microprocessor centralizations.

Most studies address some issues of assessing the technical condition of the microprocessor centralization system, but all known methods and models do not involve the current assessment of their performance during its operation, and there is no comprehensive approach to assessing their technical condition during operation. Therefore, it is important to develop and improve methods for identification and operational localization of dangerous events, taking into account other possible violations, which together with the identified ones can lead to dangerous consequences, taking into account possible human operator errors in the operation of MCS systems.

According to the results of the research the purpose and tasks of the dissertation are formulated, which provide for the development of a set of methods and models to detect violations in the technical operation of microprocessor centralization systems, as a set of possible changes in hardware, application software and maintenance stages, their further identification, evaluation and localization.

In the second section the development and improvement of methods and models of operational identification, assessment and localization of dangerous states of the microprocessor centralization system is carried out.

To do this, the description of the logic of railway automation systems is formalized and the model for determining the hazardous state of the process of technical operation of microprocessor centralization system is improved.

The method of assessing the technical condition of microprocessor equipment of station centralization under the existing limitations in damage statistics, which, in contrast to the known ones, allows to determine the probability of damage or other defect of electronic equipment and reduce the assessment procedure to probabilistic assessment of integrity equivalence on a structural and functional basis.

The safety and reliability of the application software of the microprocessor centralization system are studied and the model of operative determination of safety indicators when setting train and shunting routes is improved on the basis of structural functions describing the logic of centralization systems operation assess the level of danger for a particular route on the basis of statistical data on the failure parameters of the control objects that are included in it.

In the third section, models of interactive interaction of personnel and software and hardware in solving problems of comprehensive assessment of their safe operation are developed.

A method and procedure for interactive interaction of personnel and software and hardware has been developed, which provides the expansion of functionality and increase the functional security of microprocessor centralization systems through the identification and subsequent blocking of hazards. A block diagram of the implementation of this interactive interaction with the ability to analyze and control the actual actions of staff and the ability to adjust their work in cases of poor service or failure to confirm regulatory actions, which is deprived of existing microprocessor centralization systems.

To implement system integration and unification of microprocessor centralization systems, the structures of modern MCSs are studied and a model is created that reflects the interactions between the elements of the structure, assess their mutual influences, identify "weaknesses" in the structure, and analyze systems behavior. The method of

estimating the structures of individual microprocessor centralization systems based on graph theory using adjacency matrices and distance matrices has been improved elements.

The developed methods and models provide reduction of dangerous failures by 12.7%. The adequacy of the developed models is confirmed by testing with further comparison of reference and actual results of its operation, the results of operational tests of MCS "Zaliznychavtomatika". The discrepancy of theoretical data with the results of observations does not exceed 15%.

The fourth section presents the results of implementation and practical testing of the developed methods and models.

The model of functional safety indicators of station system components has been improved, which, in contrast to the existing ones, takes into account the variability of failure intensity during their life cycle, which allows to expand the application of the exponential distribution law in determining the technical condition of the system. It is possible to determine the intensities of dangerous failures not only for the MCS as a whole and its individual nodes, but also for control schemes of elements of topological development of the station, directly involved in the formation and implementation of station routes. A multidimensional reliability or safety functional has been formed, which allows to predict the state of the MIS at different time points, and models have been obtained using the MATLAB 6.0 mathematical modeling application package.

The application of a set of developed methods for identification and localization of dangerous events, taking into account other possible violations, which together with the identified ones can lead to dangerous consequences made it possible to: reduce by 7.4% the time spent searching for damage by technical personnel; increase by 6.9% the probability of detection and subsequent localization of dangerous events in microprocessor centralization systems; reduce by 3.2% the number of violations, which are attributed to the signaling and communication facilities, and by 13.9% the number of failures of SCB devices, which caused train delays due to their prompt detection and timely localization.

The economic effect of the introduction of one system at the station is 181973 UAH.

Such indicators confirm the feasibility of implementing the developed methods and models for identification and localization of hazards of microprocessor centralization systems in economic terms.

The practical significance of the results is confirmed by the relevant acts of implementation in LLC «SPE «Railwayautomatic», ME «Kyiv Metro», LLC «KYIVMETROPROEKT»" and in the educational process of the Ukrainian State University of Railway Transport in the preparation of bachelors and masters in 151 - Automation and Computer integrated technologies, as well as in the Center for Educational and Practical Training, Vocational and Dual Education (CNPP).

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

Список публікацій здобувача

Основні наукові праці:

1. Moiseenko V., Kameniev O., Gaievskiy V. Predicting a technical condition of railway automation hardware under conditions of limited statistical data. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3, № 9 (88). P. 26 – 35. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.102005 (видання індексується в базі Scopus)
2. V. Moiseenko, O. Kameniev, V. Butenko, V. Gaievskiy Determination model of the apparatus state for railway automatics with restrictive statistical data. *ICTE in Transportation and Logistics 2018 (ICTE 2018). Procedia Computer Science/ Volume 149*, 2019, Pages 185-194. Open access – doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.122 (видання індексується в базі Scopus)

3. Moiseenko V., Butenko V., Golovko O., Kameniev O., Gaievsky V. Mathematical models of the system integration and structural unification of specialized railway computer systems. *ICTE in Transportation and Logistics 2019 Springer* Pages 129-136. Open access – https://doi.org/10.1007/978-3-030-39688-6_18

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

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

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

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

Праці апробаційного характеру:

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

9. Мойсеєнко В. И., Каменев А. Ю., Змий С. О., Гаевский В. В. Проблемы унификации отображения данных в пользовательских подсистемах интервального регулирования движения поездов. *«Современные информационные*

и коммуникационные технологии на транспорте, в промышленности и образовании»: Тезисы X МНПК, 14.12.16 – 15.12.16, г. Днепр. Днепр: ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна, 2016. С. 37-38.

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

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

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

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

14. Мойсеєнко В. І., Бутенко В. М., Гаєвський В. В. Нові процедури обслуговування інформаційно-керуючих систем та контроль фактичного

виконання роботи. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: 31-ша міжнародна науково-практична конференція*, квітень 2018 р. Харків: 2018 № 4 С. 59 – 60.

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

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

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

ЗМІСТ

Вступ	21
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ СТАНІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ	29
1.1 Аналіз принципів та методів підвищення безпеки технічної експлуатації систем залізничної автоматики	29
1.2. Аналіз впливу людини – оператора на безпечність процесу технічної експлуатації засобів залізничної автоматики	39
Теоретичне узагальнення наукових досліджень з питань формування оперативної оцінки безпеки технічної експлуатації систем залізничної автоматики	42
Формулювання цільової функції дослідження	50
Висновки до розділу 1	57
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ БЕЗПЕКИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ	59
Метод забезпечення безпечного функціонування системи мікропроцесорної централізації на основі концепції ризик менеджменту	59
Метод оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних про пошкодження	73
Структурний синтез математичних моделей мікропроцесорних централізацій	83
Достовірність оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних про пошкодження компонентів	92
Висновки до розділу 2	96

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛІ ІНТЕРАКТИВНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЛЮДИНИ – ОПЕРАТОРА І СИСТЕМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЇХ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.	99
3.1 Модель інтерактивної взаємодії системи мікропроцесорної централізації з людиною оператором	99
3.2. Модель інтерактивної взаємодії системи мікропроцесорної централізації з технічним персоналом	109
Модель комплексної взаємодії персоналу і технічних засобів систем мікропроцесорної централізації	116
Метод оцінювання структур окремих систем мікропроцесорної централізації на основі теорії графів	119
Висновки до розділу 3	130

РОЗДІЛ 4

МЕТОДИ ОПЕРАТИВНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ЛОКАЛІЗАЦІЇ НЕБЕЗПЕК В ПРОЦЕСІ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ	132
Використання методів оцінювання ризиків для оперативної ідентифікації та локалізації небезпек в процесі технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації	132
Модель визначення технічного стану систем мікропроцесорної централізації на основі моделей інтерактивної взаємодії з людиною – оператором.	147
Імітаційна модель інтерактивної взаємодії персоналу і технічних засобів	152
Визначення економічної доцільності впровадження інноваційних методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації	154

Висновки до розділу 4	165
ВИСНОВКИ	167
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	170
Додаток А Розрахунок достовірності комбінованих випробувань	189
Додаток Б Розрахунок показників функціональної безпеки та безвідмовності МПЦ що досліджується.	193
Додаток В Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	203
Додаток Г Акти впровадження	208

ВСТУП

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

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

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

Дисертаційне дослідження спрямоване на вирішення важливої науково-прикладної задачі удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації шляхом оперативного виявлення порушень. Це дасть змогу

зменшити час на пошук, ідентифікацію та локалізацію порушень нормальної роботи МПЩ з урахуванням процесів їх технічного обслуговування (ТО).

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

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

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

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

- провести аналіз та теоретичне узагальнення методів та моделей ідентифікації та оперативної локалізації порушень в системах мікропроцесорної централізації;

- розробити метод безпечного функціонування системи мікропроцесорної централізації з використанням науково-методолігічного апарату ризик-менеджменту;

- розробити метод підвищення безпеки технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації на основі моделей (технологій) інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів;

- удосконалити модель визначення ризику появи небезпечного стану процесу технічної експлуатації системи МПЦ;
- удосконалити метод оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних;
- провести імплементацію та практичну апробацію розроблених методів і моделей визначення небезпечних станів у системах мікропроцесорної централізації.

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

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

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

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

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

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в розв'язанні задачі удосконалення технічної

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

Конкретні наукові результати що одержані автором особисто полягають у такому:

Вперше:

- розроблено метод забезпечення безпеки функціонування системи мікропроцесорної централізації, який дозволяє локалізувати небезпечні стани критичних об'єктів станційної інфраструктури за рахунок ідентифікації змін у параметрах і процедурах їх функціонування та оцінювання ризиків втрат відповідно до можливого сценарію розвитку небезпечної ситуації;
- розроблено метод та процедуру інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів, яка забезпечує розширення функційних можливостей та підвищення функційної безпечності систем мікропроцесорної централізації за рахунок ідентифікації та наступного блокування безпеки.

Удосконалено:

- модель визначення небезпечного стану процесу технічної експлуатації системи мікропроцесорної централізації шляхом нарощування базової моделі графа її станів, яка на відміну від відомих забезпечує оперативне виявлення небезпечних станів та забезпечує дотримання безпечної процедури роботи людино-машинної системи при нештатних ситуаціях;
- метод оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних про пошкодження, який, на відміну від відомих, дозволяє визначити ймовірності прояву пошкодження або іншого дефекту електронного обладнання та звести процедуру оцінювання до ймовірнісної оцінки порушення цілісності класу еквівалентності контролерів певного типу за структурно-функціональною ознакою;
- метод оцінювання структур окремих систем мікропроцесорних централізації на основі теорії графів з використанням матриць суміжності та

матриці відстані, який на відміну від відомих дозволяє визначити найбільш навантажені елементи структури в процесі технічної експлуатації та оперативно вжити заходи по забезпеченню живучості системи при пошкодженні окремих елементів системи.

Дістали подальшого розвитку:

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

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

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

Застосування комплексу розроблених методів ідентифікації та локалізації небезпечних подій з урахуванням інших можливих порушень, які в сукупності з виявленим можуть привести до небезпечних наслідків дозволило: зменшити на 7,4% витрати часу на пошук ушкоджень технічним персоналом; збільшити на 6,9% ймовірність виявлення та послідууючої локалізації небезпечних подій в системах мікропроцесорної централізації; зменшити на 3,2% кількість порушень які віднесені до господарств сигналізації та зв'язку та на 13,9 % кількість відмов

пристроїв СЦБ, які викликали затримку поїздів за рахунок оперативного їх виявлення та своєчасної локалізації.

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

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

Особистий внесок здобувача. Усі основні наукові та практичні результати роботи, що виносяться на захист, одержані автором спільно з науковим керівником. У роботах, виконаних у співавторстві, особисто автору належать наукові результати:

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

Апробація результатів дисертації. Апробація результатів дисертаційного дослідження проводилась на наукових, науково – практичних конференціях та семінарах: 29 - 33 міжнародні науково-практичні конференції МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м.Чорноморськ, м. Харків 2016 -2020 роки.; X Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті», 14-15 грудня 2016 року, м. Дніпро: ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна; 79-ї МНТК «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на

транспорті», квітень 2017, м. Харків, УкрДУЗТ; V International Scientific and Technical Conference «Engineering. Technologies. Education. Security'2017» (Veliko Tarnovo, Bulgaria, 31 May – 03 June 2017); VII міжнародна залізнична конференція UARAIL & PARTNERS «Інфраструктура та рухомий склад» 04-09 вересня 2017 р., м. Харків; 30 – 31 міжнародні науково-практичні конференція «Впровадження перспективних мікропроцесорних систем залізничної автоматики та засобів телекомунікації на базі цифровізації» 27-28 вересня 2017 р., м. Одеса, 27-28 вересня 2018 р., м. Харків; I-а міжнародна НПК Академії технічних наук України, 5-7 квітня 2017 р., м. Івано-Франківськ; II-а МНПК «Прикладні науково-технічні дослідження» 3-5 квітня 2018 р., м. Івано-Франківськ: Академія Технічних Наук України; II-III міжнародні конференції «Інжиніринг та устаткування залізниць» 16-18 жовтня 2018 р., 16-18 жовтня 2019 р., м. Київ.

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

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Транспорт і зв'язок України – 2010-2019. Статистичний збірник. URL http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/Arhiv_u/08/Arch_tr_zb.htm (дата звернення 10.02.2020)
2. Публічний звіт Голови Державної служби України з безпеки на транспорті Михайла Ноняка по основних показниках діяльності Державної служби України з безпеки на транспорті за 2016 рік <http://dsbt.gov.ua/storinka/publichnyu-zvit-golovy-derzhavnoyisluzhby-ukrayiny-z-bezpeky-na-transporti-myhayla-ponyaka>. (дата звернення 10.02.2020)
3. Мусієнко О., Ходаковський О., Ребриков С., Крот В. Аналіз стану безпеки руху на залізницях України у 2011 році. Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К.: Головне Управління Безпеки руху і екології., 2012. 94 с.
4. EN 50126-1:2017 CENELEC Спецификация и доказательство надежности, эксплуатационной готовности, ремонтнопригодности и безопасности (RAMS) для использования на железных дорогах. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels., 2017. 106 с.
5. Р 858 Основные принципы обеспечения безопасности и безотказности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики, I издание. г. Варшава, Республика Польша. Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 6-9 ноября 2006 г. Дата вступления в силу: 9 ноября 2006 г. 24 с.
6. Р 814 Эксплуатационно-технические требования к системам технической диагностики и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, I издание. Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 2-4 сентября 2014 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава. Согласовано совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 21-24 октября 2014 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава. Дата вступления в силу: 24 октября 2014 г. 43 с.

7. Р 855 Основные принципы определения необходимой надежности устройств СЦБ. II издание, г. Варшава, Республика Польша. Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 27-30 октября 2003 г. Дата вступления в силу: 30 октября 2003 г. 23 с.

8. Р 818 Эксплуатационно-технические требования к системам автоматизированного управления движением поездов на станциях (ЭЦ, РПЦ, МПЦ) с учетом требований к постам централизации, по информационной совместимости, по отображению информации на мониторах, по построению внутренних и внешних интерфейсов, к устройствам электропитания, к контролируемым и диагностируемым параметрам. I издание. Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 22-24 июня 2016 г., штаб-квартира МСЖД, Франция, г. Париж. Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 18-21 октября 2016 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава. Дата вступления в силу: 21 октября 2016 г. 36 с.

9. Р 805 Основные эксплуатационно-технические требования к устройствам управления и обеспечения безопасности движения поездов. I издание. Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 2-4 сентября 2014 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава. Согласовано совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу. 21-24 октября 2014 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава. Дата вступления в силу: 24 октября 2014 г. 41 с.

10. Р 808 Условные обозначения на устройствах отображения информации для компьютерных систем СЦБ. II издание. Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 25-27 августа 2009 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава. Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 20-23 октября 2009 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава, Республика Польша. Дата вступления в силу: 23 октября 2009 г. 30 с.

11. Р 843 Требования к программному обеспечению устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, I издание. Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 25-27 мая 2004 г., г. Варшава, Республика Польша. Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 2-5 ноября 2004 г. Дата вступления в силу: 5 ноября 2004 г. 16 с.

12. Р 851 Эксплуатационно-технические требования по защите устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от коммутационных и атмосферных перенапряжений, по их электромагнитной совместимости, I издание. Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 25-27 августа 2015 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава, Республика Польша, Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 27-30 октября 2015 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава, Республика Польша. Дата вступления в силу: 30 октября 2015 г. 53 с.

13. Р 852 Требования к устройствам электропитания микропроцессорных комплексов железнодорожной автоматики и телемеханики, I издание. Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 25-27 августа 2009 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава. Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 20-23 октября 2009 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава, Республика Польша. Дата вступления в силу: 23 октября 2009 г. 18 с.

14. Хенли Э.Д., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. Пер. с англ. В.С. Сыромятова, Г.С. Деминой. Под общ. ред. В. С. Сыромятова. М.: Машиностроение, 1984. 528 с.

15. Гришманов Є.О., Хижняк І.А., Бердник П.Г. Оцінка ефективності застосування інформаційної технології автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. *Системи обробки інформації*. 2019. № 2(157). С. 134-139.

16. Grishmanov E., Mogilatenko A., Danilov Yu. Розробка інформаційної технології автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Системи управління, навігації та зв'язку. *Збірник наукових праць*. Полтава: ПНТУ, 2019. Т. 1 (53). С. 36-40.
doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.1.036>.
17. Мойсеєнко В.И., Поєта Н.В., Кузьменко Д.М. Схемные решения релейно – микропроцессорной централизации станции Техническая Киев – Пасс. *Залізничний транспорт України*. 2002. №5. С.31 – 34
18. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. К. Держстандарт України, 1994. 37 с.
19. Кустов В.Ф., Основи теорії надійності та функціональної безпечності систем залізничної автоматики. Харків: УкрДАЗТ, 2008. 218 с.
20. Лисенков В.М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов. М.: Транспорт, 1992. 192 с.
21. Методы построения безопасных микро электронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Под ред. В.В. Сапожникова - М.: Транспорт, 1995. 272 с.
22. Ястребенецкий М.А., Соляник Б.Л. Определение надежности аппаратуры промышленной автоматики в условиях эксплуатации. М.: Энергия.1968.128 с.
23. Мойсеєнко В.І. Локалізація небезпечних подій процесу використання засобів залізничного транспорту. Харків: УкрДАЗТ. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2010. №114. С. 23-26
24. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення: ДСТУ 3433 – 96. – Введ. 01-01-97. – К.: Вид – во стандартів, 1996. 42с.
25. Самсонкін В.М., Мойсеєнко В.І. Теорія безпеки на залізничному транспорті. Монографія. К.: Видавництво «Каравела», 2014. С. 9-12, 20 -22.
26. Стандарт СТП 13-005:2020 «Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Порядок технічного обслуговування», рішення правління

АТ «Укрзалізниця» від 18.06.2020 (протокол № Ц-45/52 Ком.т.). Київ. Акціонерне Товариство «Українська залізниця», 2020. 116 с.

27. Стандарт СТП 13-007:2020 «Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологічний процес обслуговування», рішення правління АТ «Укрзалізниця» від 30.12.2020 (протокол № Ц-45/123 Ком.т.). Київ. Акціонерне Товариство «Українська залізниця», 2020. 515 с.

28. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику (ІЕС/ISO 31010:2009, IDT). ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Risk management — Risk assessment techniques (Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. URL: <https://khoda.gov.ua/image/catalog/files/dstu%2031010.pdf> (дата звернення 10.02.2020)

29. Березуцький В.В., Адаменко М.І. Небезпечні виробничі ризики та надійність: навчальний посібник для студентів за напрямком підготовки 6.170202 «Цивільна безпека». Харків. ФОП Панов А. М. 2016. 385 с.

30. Korzeniowski Leszek. Menedzment. Podstawy zarzadzania / Leszek Korzeniowski. Krakow. EAS, 2005. 425 str.

31. Korzeniowski F. Leszek. Securitologia. Nauka o bezpieczenstwie czlowieka i organizacji spolecznych. Monografia naukowa. Krakow, EAS, 2008. – 311str.

32. Hofreiter Ladislav, Simko Juraj. Zdroje a oblasti konfliktov sucasneho sveta. Akademia ozbrojenych sil generala Milana Rastislava Stefanika, Liptovsky Mikulas, 2007. 95 str.

33. Запорожець О.І. Щодо проекту концепції управління ризиками надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика. К.:Самміт–Книга, – 2007. С. 10–12.

34. Медушевський С. Розробка уніфікованої методики оцінки ризиків у процесі валідації автоматизованих інформаційних систем. *Технічні науки та технології : науковий журнал* Чернігів. нац. технол. ун-т. Чернігів: ЧНТУ, 2018.

№ 2 (12). 298 с. С. 151 -158 URL: <https://tst.stu.cn.ua/articles/1537357273267.pdf>
(дата звернення 11.07.2019)

35. Ургансков Д. И. Методы обеспечения и средства доказательства безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики: дис. канд. техн. наук: 05.22.08 «Управление процессами перевозок»; Петербургский государственный университет путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2003. 219 с. Библиогр.: С. 189 – 203.

36. Тарадин, Н.А. Методы оценки безопасности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики: дис. канд. техн. наук: 05.22.08 «Управление процессами перевозок»; Московский государственный университет путей сообщения. М.: МГУПС, 2010. 209 с. Библиогр.: С.167-179.

37. Сигорский, В.П. Математический аппарат инженера. изд. 2-е, стереотип. К.: Техника, 1977. 768 с.

38. Мойсеєнко, В.І., Чегодаєв Б.В., Зотова О.С. Методи діагностування систем залізничної автоматики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2014. №4. С.26-32.

39. Panchenko S., Siroklin I., Lapko A., Kameniev A., Zmii S. Improvement of the accuracy of determining movement parameters of cuts on classification humps by methods of video analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* ISSN 1729-3774. 2016. №4/3(82). P. 25-30.

40. Tang L. Reliability assessments of railway signaling systems: A comparison and evaluation of approaches. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 2015. 69 с.

41. Watanabe Y., Matsumoto Y. Online Failure Prediction in Cloud Datacenters. *Fujitsu scientific & technical journal*. 2014. Vol. 50, No. 1. P. 67-71.

42. 47. Svendsen, P.A. Online Failure Prediction in UNIX Systems. Kristiansand: University of Agder, 2011. 70 p.

43. Kumar R., Vijayakumar S., Ahamed S. Pat US 2015/0067410 A1. USA CPK G06F 11/004. Hardware failure prediction system. Assignee: Tata Consultancy

Services Limited. № US 14/144,823; Filed; Dec_ 31, 2013; Pub. Date: Mar. 5, 2015.
14 с.

44. Гаврилюк Е.А., Манцеров С.А., Панов А.Ю. Прогнозирование отказов систем автоматического управления газоперекачивающими агрегатами на основе индекса технического состояния и степени риска. *Фундаментальные исследования*. 2015. №7 (Ч. 2). С.309-313.

45. Ковалёв А.В., Трушин Н.Н., Сальников В.С. Прогнозирование технического состояния технологического оборудования. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2014. Вып. 11 (Ч. 2). С. 554-559.

46. Ефанов Д.В. Становление и перспективы развития систем функционального контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. *Автоматика на транспорте*. 2016. № 1 (Т.2). С. 124-148.

47. Сансевич В.К. Разработка автоматизированной системы прогнозирования работоспособности устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.08. М.: РГОТУПС, 1997. 24 с.

48. Schut D. Wisniewski J. A global vision of railway development. Paris: International Union of Railways (UIC), 2015. 44 p.

49. Pereira J., Teixeira P., Viegas J. RAMS analysis of railway track infrastructure (Reliability, Availability, Maintainability, Safety). Paris: International Union of Railways (UIC), 2015. 44 p.

50. Stewart C., Luebke C., Morrell M., Goulding L. Future of Rail 2050. London: Arup, 2015. 58 p.

51. Каменев А.Ю. Достоверность методов комбинированных испытаний системы микропроцессорной централизации железнодорожных станций. *Современные проблемы транспортного комплекса России*. 2014. Вып. 5. С. 61-66.

52. Мойсеенко В.І., Каменев О.Ю., Гаєвський В.В. Прогнозування стану мікроелектронних пристроїв залізничної автоматики при обмежених

статистичних даних. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: *Матеріали доповідей 29-ї МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», м. Чорноморськ, 27 – 29 вересня 2016 р. 2016. №4 (Додаток). С.37.*

53. Кустов В.Ф., Каменев А.Ю. Усовершенствование методов испытаний микропроцессорной централизации на безопасность применения. *Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики: сборник научных трудов.* СПб.: ПГУПС, 2013. С. 103 – 118

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

55. Каменев О.Ю. Методи матричної інтерпретації підсистеми логічних залежностей мікропроцесорної централізації стрілок та сигналів. *Радіоелектронні та комп'ютерні системи.* 2012. № 2. С. 110 – 117.

56. Ургансков Д.И. Методы обеспечения и средства доказательства безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики: дис. канд. техн. наук: 05.22.08 «Управление процессами перевозок». Петербургский государственный университет путей сообщения. – СПб.: ПГУПС, 2003. 219 с. Библиогр.: С. 189 – 203.

57. Мороз В.П., Змий С.О., Турчинов Р.В. Обґрунтування вибору середовища для побудови імітаційної моделі колійного розвитку станції. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.* Харків: УкрДАЗТ, 2011. № 5. С. 153.

58. Andrii Prokhorchenko, Larysa Parkhomenko, Andrii Kyman, Viacheslav Matsiukb, Jelena Stepanova. Improvement of the technology of accelerated passage of lowcapacity car traffic on the basis of scheduling of grouped trains of operational purpose. *ICTE in Transportation and Logistics 2018 (ICTE 2018) – Procedia Computer Science 149 (2019) .* С. 86–94

59. Татт У. Теория графов: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. – 424 с.

60. Listrovoy S. V., Butenko V. M., Bryksin V. O., Golovko O. V. Development of method of definition maximum clique in a non-oriented graph. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 5, № 4 (89). P. 12 – 17. EID: 2-s2.0-85032585697 DOI: 10.15587/1729-4061.2017.111056

61. Moiseenko V., Kameniev O., Butenko V., Gaievskiy V. Модель визначення стану пристрою залізничної автоматики з обмежувальними статистичними даними. Determination model of the apparatus state for railway automatics with restrictive statistical data. *ICTE in Transportation and Logistics 2018 (ICTE 2018). Procedia Computer Science/ Volume 149*, 2019, Pages 185-194. Open access – doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.122

62. Moiseenko V., Kameniev O., Gaievskiy V. Прогнозування технічного стану обладнання залізничної автоматики в умовах обмежених статистичних даних. Predicting a technical condition of railway automation hardware under conditions of limited statistical data. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 3, №9 (88). P. 26 – 35. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.102005

63. Коновалов В.С., Мелихов А.А., Ковтун А.В. Анализ иерархических структур систем микропроцессорных централизаций железнодорожной автоматики. Кинематика. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. №3(7), 2004. Харків. НАУ ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ». С. 89-95

64. Бочков К. А., Коврига А.Н., Харлап С.Н. Микропроцессорные системы автоматики на железно-дорожном транспорте: учеб. пособ. Гомель: БелГУТ, 2013. 255 с.

65. Садовский В. Н., Уемов А.И. Системный подход в современной науке: учебник. М.: Прогресс-Традиция, 2004. 561 с.

66. Свами М. Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы: учеб. пособ. для вузов. М.: Мир, 1984. 456 с.

67. Пельменев, В. А. Системы электрической централизации нового поколения. Хабаровск: ДВГУПС, 2015. 85 с.

68. URL: <https://intellect.icu/strukturno-topologicheskie-kharakteristiki-sistem-strukturnaya-izbytochnost-6241> (дата звернення 11.07.2019)
69. Ланкин В.Е. Децентрализация управления социально-экономическими системами (системный аспект). Монография. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. 228с.
70. Рева О. М. Оцінка структурної ефективності служби руху (на прикладі красноярського центра обслуговування повітряного руху). *Авиационно-космическая техника и технология*. 2012. № 10. С. 176–186. URL: <http://nbuv.gov.ua/UJRN/> (дата звернення 11.07.2019)
71. Рева А.Н., Устименко И.М., Колтаков В.Н. Эффективность организации коммуникаций в системе аэронавигационного обслуживания полетов (на примере Красноярского центра обслуживания воздушного движения). *Авиационно-космическая техника и технология*, № 7 (104) 2013, Харків. НАУ ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ» С. 215- 226
72. Рева О.М., Невиніцин А.М., Бірюков Ю.Ю., Савонина Н.А. Методи теорії графів у структурно-функціональному аналізі організації діяльності диспетчерської зміни, як невеликої групи авіаційних операторів. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії* №1 (8), 2013. Херсон, ХДМА. С. 267 – 275.
73. Имаев, Д. Ч. Анализ и синтез систем управления: учеб. для вузов. М.: Информ.издат., 1998. 169 с.
74. Введение в технологию моделирования на основе направленных графов: справочник для студентов. URL: http://www.vissim.nm.ru/lectures/sml_02.htm. (дата звернення 03.06.2018).
75. Введение в технологию мультидоменного физического моделирования с применением ненаправленных графов. URL: http://www.vissim.nm.ru/lectures/sml_03.htm. (дата звернення 04.06.2018).
76. Обзор архитектурного построения программ математического моделирования динамических систем. URL: <http://www.exponenta.ru/educat/news> (дата звернення 15.06.2018).

77. Колесов Ю. Б., Сениченков Ю.Б. Моделирование систем. Динамические и гибридные системы: учебное пособие. СПб.: БХВ–Петербург, 2006. 224 с.
78. Кэрнопа Д., Розенберг Р. Применение метода графов связей в технике. М.: Мир, 1973. – С. 15–25.
79. Советов Б. Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учеб. пособ. М.: Высш.шк., 1985. 269 с.
80. Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов. Минск.: ДизайнПРО, 1997. 640 с.
81. Говорухин В. Н., Цибулин В.Г. Введение в Maple. Математический пакет для всех: пособие для студ. М.: Мир, 1997. 208 с.
82. Дьяконов В. П. Математическая система Maple: пособие для вузов. М.: СОЛОН-Пресс, 1998. 400 с.
83. Дьяконов В. П. Maple 10 в математике, физике и образовании: справочник по Maple. М.: СОЛОН-Пресс, 2006. 720 с.
84. Попов, Б. О. Розв’язування задач у системі комп’ютерної алгебри Maple: навч. посіб. Київ.: ViP, 2007. 312 с.
85. Графы в Maple URL: <http://vuz.exponenta.ru/PDF/book/GrMaple.pdf><http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Kirsanov2007ru.pdf>. (дата звернення 20.09.2018).
86. Чарльз Г. Э., Пенни Д.Э. Дифференциальные уравнения и краевые задачи. Моделирование и вычисление с помощью Maple и MATLAB: пособие для вузов. М.: Вильямс, 2008. 1104 с.
87. Меньшиков Н. Я., Королев А.И. Надежность железнодорожных систем автоматик и телемеханики: ученик. М.: Транспорт, 1976. 215 с.
88. Кустов, В. Ф. Основи теорії надійності та функційної безпечності систем залізничної автоматики: навч. посіб. Х.: УкрДАЗТ, 2008. 218 с.

89. Мойсеєнко В.І, Буряковський С.Г. Інтеграція програмного забезпечення розгалужених телекомунікаційних та інформаційно-керуючих систем *Збірник наукових праць ДонІЗТ*, 2012, № 29. С. 5 - 11.

90. Хмарні технології Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Хмарні_технології (дата звернення 17.03.2019)

91. Облачные технологии: основные понятия, задачи и тенденции развития. URL: <http://swsys-web.ru/cloud-computing-basic-concepts-problems.html>. (дата звернення 17.03.2019)

92. Richard W. Hamming *The Art of Doing Science and Engineering. Learning to Learn*. New York: Gordon Breach Science Publishers, 2005. 227 p.

93. Хемминг Р.В. Теория кодирования и теория информации. М.: Радио и связь, 1983. 176 с.

94. Биков В.Ю. Хмарні технології, ІКТ аутсорсинг і нові функції ІКТ підрозділів освітніх і наукових установ. *Інформаційні технології в освіті*. 2011, № 10. С. 8—23.

95. Кадемія М.Ю., Кобися В.М. Можливості, що надають хмарні технології. *Хмарні технології в освіті: матеріали Всеукраїнського науково методичного Інтернет семінару*. Кривий Ріг: Видавничий відділ КМІ, 2012. С. 66—67.

96. Перспективи розвитку ринку хмарних обчислень в Україні: переваги та ризики: Аналітична записка. URL: http://www.niss.gov.ua/articles/1191/#_ftn2 (дата звернення 17.03.2019)

97. Baroudy, K., Kishore, S., Nair, S., and Patel, M. (2018), Unlocking value from IoT connectivity: Six considerations for choosing a provider, March. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/high-tech/our-insights/unlocking-value-from-iot-connectivity-six-considerations--for-choosing-a-provider> (Accessed on 12.03.2018).

98. Ménard, A. (2017), How can we recognize the real power of the Internet of Things?, November. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital->

mckinsey/our-insights/how-can-we-recognize-the-real-power-of-the-internet-of-things (Accessed on 12.03.2018).

99. CER, CIT, EIM, UIC (2016). A Roadmap for Digital Railways. URL: <http://www.cer.be/sites/default/files/publication/A%20Roadmap%20for%20Digital%20Railways.pdf> (Accessed on 10.01.2018).

100. Joint Rail Sector Declaration on Digitalisation of Railways. URL: http://www.cer.be/sites/default/files/publication/171109_Joint_Rail_Sector_Declaration_on_Digitalisation_of_Railways.pdf (Accessed on 02.02.2018).

101. ДСТУ 2389-94 Державний стандарт України. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. Держстандарт України, Київ. 1994. 24 с.

102. ДСТУ 3021-95 Державний стандарт України. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. Держстандарт України, Київ 1995 рік. 71 с.

103. ДСТУ 4178-2003 Державний стандарт України Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробування. Держстандарт України, Київ 2003 рік 36 с.

104. ДСТУ EN 1330-9:2016 Неразрушающий контроль. Терминология. Часть 9. Термины, которые используют в акустико-эмиссионном контроле (EN 1330-9:2009, IDT). Київ ДП «УкрНДНЦ» 2016. 43с.

105. EN 13848-5:2008+A1:2010: Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 5: Geometric quality levels - Plain line [Required by Directive 2008/57/EC]. URL: <https://www.en-standard.eu/din-en-13848-5-railway-applications-track-track-geometry-quality-part-5-geometric-quality-levels-plain-line-switches-and-crossings/> (Accessed on 02.03.2018).

106. EN 13261:2009+A1:2010: Railway applications - Wheelsets and bogies - Axles - Product requirements [Required by Directive 2008/57/EC] 57 p. URL:

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/a3c8acad-d55a-4a77-94f9-0f6f0311d2da/en-13261-2009> (Accessed on 02.02.2020).

107. ISO/IEC 17020:2012 specifies requirements for the competence of bodies performing inspection and for the impartiality and consistency of their inspection activities. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/52994.html> (Accessed on 02.03.2020).

108. ДСТУ ISO 9001:2015, Системы менеджмента качества - Требования Quality management systems — Requirements ISO copyright office Ch. de Blandonnet 8 • CP 401 CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland 2014. 28 p. URL: <https://www.certification.ua/wp-content/uploads/2018/03/ISO-9001-2015-ru.pdf> (Accessed on 02.03.2020).

109. IEC 300-1/ISO 9000-4 Стандарти в області адміністративного управлінням якістю та забезпечення якості. МЕК 300-1 Управління забезпечення загальної надійності. Частина 4. Керівництво з управління програмою забезпечення загальної надійності Частина 1. Управління програмою забезпечення загальної надійності. URL: https://dbn.co.ua/index/gost_kahestvo/0-115 (дата звернення 17.03.2019)

110. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности: учебник для вузов. М. ВИНТИ РАН, 1999. 332 с.

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

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

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

114. 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/CENELEC.pdf>. (дата звернення: 15.05.2018).

115. IEC 61508-3:2010. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 3: Software requirements. URL: <https://tk185.appau.org.ua/61508/standard-iec-61508/standarty-mek-61508> (дата звернення: 27.06.2019).

116. IRIS - International Railway Industry Standard. 57 p. URL: https://www.certification.ua/wp-content/uploads/2018/03/IRIS-02_RUS.pdf – (дата звернення 15.10.2019).

117. Духанов А.В., Медведева О.Н. Имитационное моделирование сложных систем: курс лекций. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. 115 с.

118. Бобровський В.І. Теоретичні основи удосконалення конструкції та технології роботи залізничних станцій: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.22.20 Бобровський Володимир Ілліч. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2002. 27 с.

119. Вернигора Р.В. Підвищення ефективності функціонування залізничних станцій як ергатичних систем: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.20 Вернигора Роман Віталійович. Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2008. 24 с.

120. Козаченко Д. М. Модель колійного розвитку для імітаційного моделювання гіркових процесів. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна: збірник наукових праць*. 2009. Вип. 29. С. 54 – 58.

121. Сапожников Вл. В., Елкин Б.Н., Кокурин И.М. Станционные системы автоматики и телемеханики: учеб. для вузов ж.-д. трансп.; под ред. Вл.В. Сапожникова. М.: Транспорт, 1997. 432 с.

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

123. Unity Pro: Program Languages and Structure Reference Manual / Schneider Electric, 2012. – 722 p.

124. Bolton W. Programmable Logic Controllers. Fourth Edition. Oxford: Elsevier Linacre House, 2006. 303 p.

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

126. Каменев А. А., Лапко А.О. Уровни толерантности изоморфизма на разных уровнях иерархических систем управления. *Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: «Информатика и автоматизация»*. 2016. № 1 (29). Р. 8-1.

127. Arlat J. Composants COTS et sûreté de fonctionnement. Atelier thématique n°5, LAAS-CNRS Toulouse, 2003. 12 ff.

128. Басов В.І., Єлисеєв В.В., Петренко О.В., Бойник А.Б., Чепцов М.Н., Радковський С.О. Мікропроцесорні системи управління рухом поїздів МПЦ-У та МАБ-У: навч. посіб. Київ, 2014. 430 с.

129. Воронин А. В. Моделирование технических систем: учебное пособие. Томск.: Томск печать, 2013. 130 с.

130. Лебедев В. Б. Структурный анализ систем управления: учебное пособие. М.: Пенза, 2000. 96 с.

131. Обзор архитектурного построения программ математического моделирования динамических систем. URL: <http://www.exponenta.ru/educat/news>. (дата звернення 15.05.2018).

132. IEC 61078 Analysis Techniques for System Reliability. Reliability Block Diagram and Boolean Methods. Edition3.0 2016-08: INTERNATIONAL STANDARD IEC Central Office, Geneva. Switzerland. 2016. p. 116. URL: <https://ru.scribd.com/document/102115571/As-IEC-61078-2008-Analysis-Techniques-for-System-Reliability-Reliability-Block-Diagram-and-Boolean-Methods> (дата звернення 19.08.2018).

133. IEC 61165-2008 Application of Markov Techniques: INTERNATIONAL STANDARD // IEC Central Office, Geneva. Switzerland. 2016. p. 27

<https://ru.scribd.com/document/102115630/As-IEC-61165-2008-Application-of-Markov-Techniques> (дата звернення 19.08.2018).

134. ДСТУ ISO/IEC 15909-1:2016 Инженерия программных средств и систем. Высокоуровневые сети Петри. Часть 1. Концепции, определения понятий и графические обозначения. Изменение 1. Симметричные сети (ISO/IEC 15909-1:2004/Amd 1:2010, IDT). ГП «Украинский научно-исследовательский и учебный центр проблем стандартизации, сертификации и качества» (ГП «УкрНИУЦ»). URL: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=79805 (дата звернення 19.08.2018).

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

136. IEC 60300–3–11 Управління загальною надійністю. Частина 3–11. Керівництво з застосування. Технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності.

137. Saykowski R., Schultz E. Bleidiessel J. Programmable Logic Controllers in Railway Interlocking Systems for Regional Lines of the DB Netze AG. Kommunikation in Verteilten Systemen, Kiel, Christian-Albrechts-Universität, 8-11 März, 2011. S. 205 – 207.

138. Karevs V. Railway automation and telematics system's monitoring and diagnostic. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 192 p.

139. Маловічко В.В., Рибалка Р.В., Маловічко Н.В. Визначення пріоритетів вибору об'єктів діагностування та контролю електричної централізації з урахуванням затримок поїздів. *Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту*. 2012. Вип. 31. С. 57 – 61.

140. IEC 61508-1:2010. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 1: General requirements

URL: <https://tk185.appau.org.ua/61508/standard-iec-61508/standarty-mek-61508> (дата звернення 26.05.2019).

141. CENELEC - EN 50129 Railway applications - Communication, signalling and processing systems - Safety related electronic systems for signalling 17, Avenue Marnix Brussels, 1000 Belgium, 157 p. URL: <https://standards.globalspec.com/std/13113133/EN%2050129> (дата звернення 26.05.2019).

142. Оцінка ефективності інноваційних рішень URL: <https://studfile.net/preview/5532339/> (дата звернення 26.05.2020).

143. Поляков И.А., Релизов К.С. Справочник экономиста по труду М.: Экономика, 1981. 408 с.

144. Яковлева А.В. Экономическая статистика: шпаргалка [б.в.]. 2008. 173 с.

145. Буркинский Б.В., Молина Е.В. Активизация инвестиционной деятельности в регионе. Одесса: ИПРЭЭД НАН Украины, 2003. 494 с.

146. Друкер П. Управление, нацеленное на результат. М. : Технолог. шк. бизнеса, 1992. 192 с.

147. Скалюк Р.В., Декалюк О.В. Ефекти та ефективність інноваційної діяльності промислових підприємств. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. Вип. 1. Хмельницький, 2009. С. 149-154.

148. Чулок А.А. Анализ показателей эффективности инноваций на микро- и макроуровне. *Инновации*. 2004. №5 (72). С. 29.

149. Юрченко Ю.М., Кошевий С.В., Бойнік А.Б., Жердев М.Д., Сусідко В.Л. Визначення економічної ефективності впровадження мікропроцесорних систем керування процесом перевезень: Навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2008. 99 с.

150. Генкин, Б.М. Экономика и социология труда М.: НОРМА, 2007. 448 с.

151. Рофе, А. И. Организация и нормирование труда: уч. для вузов М.: МИК, 2003. 368 с.

152. Юрченко О.В., Гринь Н.В., Курганська О.В. Кікнадзе Т.І., Смокал О.В., Солод Л.М., Пасечнік Л.І. Довідник основних показників роботи залізниць України (1996-2006 роки). К., 2007. 44 с.