

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

Гасвський 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., Gaievskyi 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. Gaievskyi 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. Мойсеєнко 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
1.3 Теоретичне узагальнення наукових досліджень з питань формування оперативної оцінки безпеки технічної експлуатації систем залізничної автоматики	42
1.4 Формулювання цільової функції дослідження	50
1.5 Висновки до розділу 1	57
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ БЕЗПЕКИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ	59
2.1 Метод забезпечення безпечного функціонування системи мікропроцесорної централізації на основі концепції ризик менеджменту	59
2.2 Метод оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних про пошкодження	73
2.3 Структурний синтез математичних моделей мікропроцесорних централізацій	83
2.4 Достовірність оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних про пошкодження компонентів	92
2.5 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
3.3 Модель комплексної взаємодії персоналу і технічних засобів систем мікропроцесорної централізації	116
3.4 Метод оцінювання структур окремих систем мікропроцесорної централізації на основі теорії графів	119
3.5 Висновки до розділу 3	130

РОЗДІЛ 4

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

4.5 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 МПЦ 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 дільниці 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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ ІДЕНТИФІКАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНИХ СТАНІВ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ

1.1 Аналіз принципів та методів підвищення безпеки технічної експлуатації систем залізничної автоматики

Протягом двох останніх десятиліть в області модернізації технічних засобів залізничної автоматики (ЗА) реалізуються наступні стратегічні завдання науково-технічного розвитку:

- перехід від релейних систем до мікропроцесорних і релейно-процесорних програмно - апаратних комплексів електричної централізації, для створення на їх основі багатofункціональних інформаційно керуючих систем які забезпечують безпеку руху поїздів;

- створення необслуговуваних і малообслуговуваних систем і пристроїв з вбудованими функціями діагностики та віддаленого моніторингу для зниження трудомісткості обслуговування і переходу до обслуговування «за станом», в тому числі і в діючих релейних системах;

- створення дорожніх центрів діагностики та віддаленого моніторингу;

- удосконалення нормативно-технічної бази для забезпечення процесів розробки, випробувань, впровадження та технічного обслуговування засобів залізничної автоматики.

Існуючий стан технічної експлуатації засобів ЗА на залізницях загального та незагальноо користування та в метрополітенах України характеризується наступним:

- переважна більшість морально і фізично зношених релейних систем;
- дефіцит і відтік кваліфікованих кадрів;
- зниження рівня навичок і технічної грамотності експлуатаційного персоналу.

За період з 2009 по 2019 роки в господарствах сигналізації та зв'язку АТ «Укрзалізниця» [1, 2, 3] загальна кількість транспортних подій розподілялась наступним чином, таблицях 1.1 та 1.2:

Таблиця 1.1 – Загальна кількість транспортних подій в господарствах сигналізації та зв'язку АТ «Укрзалізниця» в 2009 – 2012 роках

Роки	2009	2010	2011	2012
Загальна кількість транспортних подій	15	18	16	11

Таблиця 1.2 – Загальна кількість транспортних подій в господарствах сигналізації та зв'язку АТ «Укрзалізниця» в 2013 – 2019 роках

Роки	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Загальна кількість транспортних подій	9	11	11	12	10	11	9

Транспортні події, що віднесені за господарствами сигналізації та зв'язку, з вини експлуатаційного штату, допущені через:

- порушення технології виконання робіт при технічному обслуговуванні пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ);
- невиконання робіт, передбачених планами технічного обслуговування пристроїв СЦБ, інструкціями та керівними вказівками УЗ;
- з інших причин через розкрадання, навмисне пошкодження пристроїв;
- через заводський брак, схемні недоліки, стихійні лиха, впливи грозових та комутаційних розрядів.

Розподіл транспортних подій з вини експлуатаційного штату подано на рисунку 1.1.

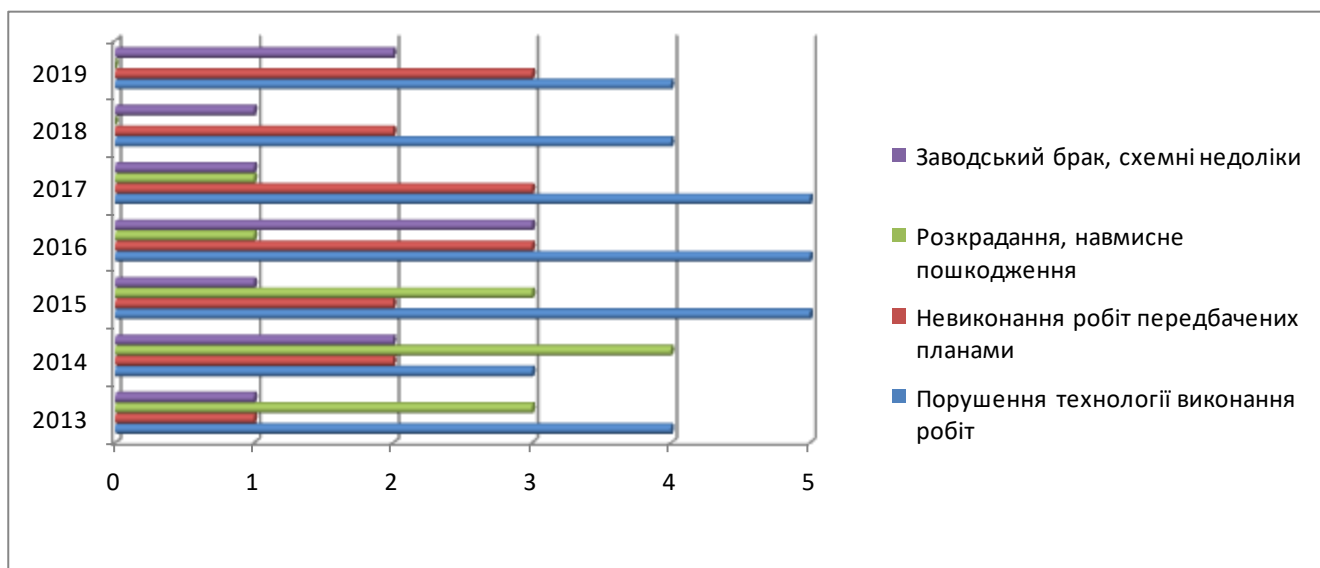


Рисунок 1.1 – Розподіл транспортних подій з вини експлуатаційного штату

Так як найбільша кількість транспортних подій трапляється через порушення технології виконання робіт та невиконання робіт що передбачені планами, можливо зробити висновок, що на технічну експлуатацію систем залізничної автоматики негативно впливають:

- людський фактор;
- помилки при проектуванні, виготовленні, виконанні будівельно – монтажних робіт, експлуатації;
- тривалість експлуатації систем;
- низька ефективність діагностування;
- недоліки методик та технологій виявлення дефектів.

Європейський стандарт EN 50126 CENELEC [4] надає в розпорядження залізничним підприємствам, розробникам та постачальникам залізничної продукції способ послідовного використання керування надійністю (Reliability), експлуатаційною готовністю (Availability), ремонтпридатністю (Maintainability) та безпекою (Safety) - RAMS для залізничного транспорту. Тобто RAMS - це характеристика поведінки системи при тривалому функціонуванні і досягається застосуванням визнаних технічних планів, процесів, інструментів та техніки під

час всього життєвого циклу, при яких система, підсистема або компоненти, з яких вона складається, функціонують згідно специфікації, а також доступні і безпечні.

На взаємні логічні та функціональні зв'язки показників RAMS найбільш вагомий вплив здійснює технічне обслуговування (ТО) яке є невід'ємним компонентом технологічного комплексу пристроїв та систем ЗА (рисунок 1.2).

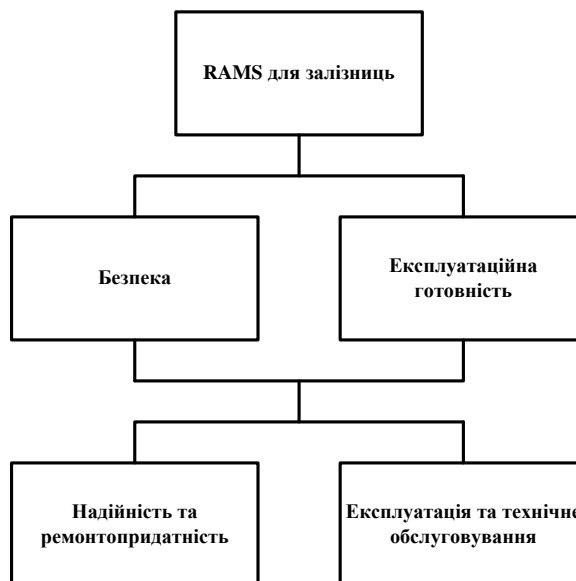


Рисунок 1.2 – Зв'язок між елементами RAMS для залізниць

Цілі безпеки і експлуатаційної готовності можуть здійснюватися тільки тоді, коли постійно виконуються вимоги надійності і ремонтпридатності і здійснюються поточні основні роботи з технічного обслуговування.

Характеристики RAMS залізничної системи схильні до потрійного впливу, а саме, від джерел помилок (пошкоджень) і відмов, які проявляють себе всередині системи на будь-якому етапі життєвого циклу системи (системні умови), від заважаючих впливів, яким піддається система під час експлуатації (умови експлуатації), від джерел помилок (пошкоджень), яким піддається система під час робіт з технічного обслуговування (умови обслуговування). Ці джерела помилок, відмови і заважаючі впливи можуть також взаємодіяти одне з одним та подані на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Взаємодія джерел пошкоджень

На підставі аналізу даних і статистики RAMS з'являється можливість в розробці і впровадженні нових методів експлуатації і підтримки в справності систем ЗА[4].

Згідно [5], при створенні сучасних систем МПЦ основним напрямком є принцип виключення можливості появи потенційно небезпечної ситуації (або зведення ймовірності появи цієї події до мінімально допустимої величини). Тому досягнення безпеки функціонування пристроїв і систем повинно базуватися на таких основних принципах:

- забезпечення безпечного функціонування;
- забезпечення якісного виготовлення пристроїв і її програмного забезпечення;
- принцип допущення гіршого випадку, при якому система навіть при малоймовірному поєднанні вражаючих факторів повинна виключати появу потенційно небезпечної ситуації;
- організація безперервного контролю функціонування пристроїв в процесі технічної експлуатації;
- здійснення безперервного моніторингу стану пристроїв системи методами діагностики.

У релейних системах ЗА відмови традиційно розподіляються на захисні та небезпечні, але із появою складних мікропроцесорних систем виділений новий клас відмов – маскованих які можуть бути такими що виявляються та що не виявляються. Останні можуть призводити до накопичення відмов і, як наслідок, до порушення функціонування і до можливості появи небезпечних відмов.[5]

Функціональна діагностика забезпечує оцінку технічного стану об'єкта в ході його експлуатації і може бути безперервною та сервісною. Безперервна виконується за допомогою вбудованих технічних засобів, які можуть бути невід'ємною складовою частиною пристрою ЗА і дозволяють визначати відмови, пошкодження і предотказні стани. Сервісна діагностика проводиться на місці експлуатації обладнання за допомогою мобільних засобів технічної діагностики, на працездатному обладнанні, з метою передбачення відмов в ході подальшої експлуатації або локалізації ушкоджень, для визначення обсягів необхідних профілактичних робіт [6]

Надійність пристроїв ЗА, зокрема систем мікропроцесорної централізації, згідно [7], характеризується наступними властивостями - безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і готовність. Якісним визначенням виду та локалізацією місця відмови скорочується середня тривалість технічного обслуговування ($t_{то}$) і середня тривалість ремонту ($t_{рп}$). Завдяки чому скорочується інтенсивність відмов (λ) і підвищується ймовірність безвідмовної роботи ($P(t)$), середнє напрацювання на відмову (t, t_{γ}) або до відмови ($t_0, t_{0\gamma}$).

Для цього, як всі відомі системи мікропроцесорних централізацій так і ті, що створюються знов, повинні відповідати вимогам [8] з урахуванням вимог [9,10, 11, 12, 13].

Для аналізу та оцінювання показників функціонування систем ЗА з кінця ХХ століття досить широко використовувався метод “дерева відмов” який дозволив суттєво розширити можливості для проведення аналізу й оцінювання причин аварійних ситуацій. [14] В інших галузях підвищеного ризику (аерокосмічної галузі, атомній енергетиці, нафтогазовій промисловості) також

використовуються методи дослідження та оцінки ймовірностей можливих сценаріїв розвитку аварійних ситуацій з певними наслідками, які дозволяють виявити потенційні причини цих подій і попередити їх [15, 16]. Наприклад, в авіаційній галузі в якості методичного інструменту для прогнозування і попередження авіаційних подій традиційним є метод аналізу «дерева відмов».

Одним з найбільш ефективних методів покращення безпечних властивостей систем мікропроцесорних централізацій є блокування процесу формування небезпечних команд у разі виникнення ушкоджень чи помилок персоналу. Класичні методи локалізації небезпечних факторів базуються на їх виявленні та наступному блокуванні [17]. Найбільш розповсюдженим є інформування персоналу про існуючу небезпеку з унеможливленням наступних дій, які пов'язані з ушкодженням об'єктом. У існуючих релейних системах здійснення подібних заходів може бути забезпечено тільки організаційними методами, однак такий підхід є недостатньо ефективним внаслідок низької надійності людини-оператора. В сучасних системах мікропроцесорних централізацій вони обмежуються ідентифікацією небезпек, а точніше небезпечних відмов техніки та небезпечних дій персоналу.

Як відомо, будь-якій аварії передують низка подій, більшість з яких існує протягом тривалого часу. Багатофакторність природи порушень нормальної дії системи підтверджується дослідженнями складових транспортних подій та розробленими моделями небезпечних транспортних подій [18, 19, 20]. Тому на теперішній час актуальним є розробка та удосконалення методів ідентифікації, оцінювання та локалізації небезпечних подій з урахуванням інших можливих порушень, які в сукупності з виявленим можуть привести до небезпечних наслідків.

Метод оперативної ідентифікації та оцінки порушень безпеки встановлює, що для запобігання негативних наслідків будь якого порушення необхідно виявити всі можливі варіанти розвитку подій за участю даного негативного фактора. Основою для такого аналізу може бути модель дерева подій, або дерева

ушкоджень [14, 21, 22] але взагалі це може бути будь-яка модель, яка відображає властивості функціонування об'єкта.

Моделі порушень на основі дерева подій або дерева ушкоджень [14] є високоефективним інструментом, що дозволяє не тільки ідентифікувати небезпечну подію, а і оцінити можливість появи транспортної події.

Серед основних переваг цих методів слід виділити наступні:

- при побудові дерева виконується детальний аналіз об'єкту, направлений на пошук причин порушень і на встановлення причинно-наслідкового зв'язку між ними;
- можливо визначити найбільш «уразливі» частини об'єкту використовуючи будь-який ступінь деталізації досліджень;
- графічне представлення моделі досить просто і наглядно відображає поведінку об'єкта, що досліджується;
- метод дозволяє здійснювати кількісну оцінку небезпек, що мають місце, із використанням засобів обчислювальної техніки.

Згідно [23] найбільш ефективною з технічної точки зору є використання базової моделі дерева небезпечних подій системи керування, що може мати m небезпечних збігів з n порушеннями у кожному:

$A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1n}$, - перший збіг небезпечних подій;

$A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2n}$ - другий збіг небезпечних подій;

.....

$A_{j1}, A_{j2}, \dots, A_{jn}$ - j -й збіг небезпечних подій;

.....

$A_{m1}, A_{m2}, \dots, A_{mn}$ - m -й збіг небезпечних подій.

При виявленні i -ї відмови техніки або небезпечної дії персоналу попередньо здійснюється оцінка її потенційної небезпеки. Найбільш простим є формування попереднього стану потенційно небезпечних подій оскільки їх загальний перелік є у будь-якому випадку кінцевим. Якщо порушення визнано потенційно небезпечним (спроможним у сукупності з іншими сприяти появі

кінцевої події) система здійснює розрахунок імовірності очікування кінцевої події $P_k(A_i)=1$ за допомогою процедури оперативної локалізації небезпечних подій як показано на рисунку 1.4.

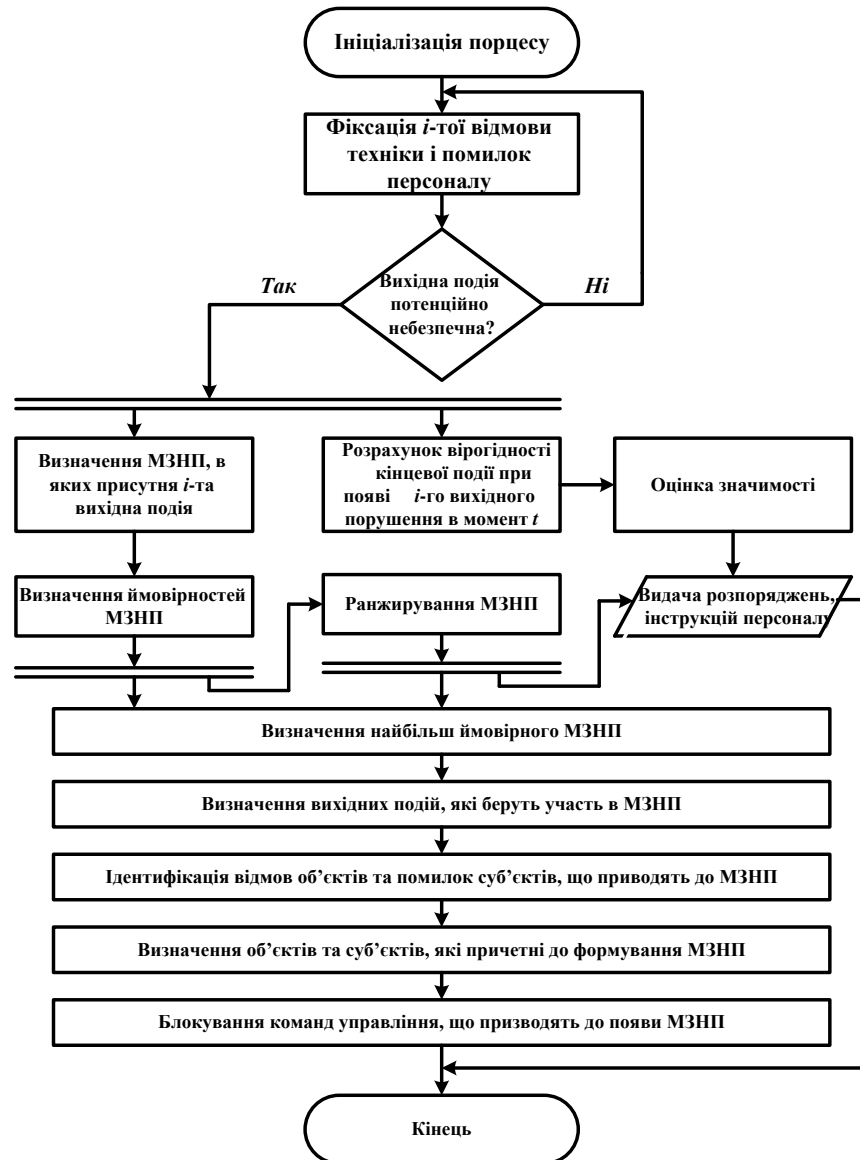


Рисунок 1.4 – Процедура оперативної локалізації небезпечних подій

Далі проводиться оцінка її значимості з урахуванням імовірності існування кінцевої події дерева при появі первинної події x_i .

Після визначення ступеня небезпеки експлуатаційному персоналу надаються відповідні інструкції, потім виявляються всі множини збігів

небезпечних подій (МЗНП), в яких може брати участь подія A_i , та обчислюються їх імовірності відповідно до [24].

Після ранжирування МЗНП оперативному персоналу надається інформація про можливі наслідки зафіксованого порушення та виявляється найбільш імовірний збіг небезпек. Шляхом зворотного ходу дерева виявляються початкові події, які беруть участь у формуванні встановленого мінімального збігу. Таким чином, фактично виявленими є всі можливі варіанти розвитку подій у системі керування при наявності i -го ушкодження. Якщо далі встановити перелік об'єктів керування або суб'єктів, що можуть бути причетними до формування i -го МЗНП то можливо формувати команди які забезпечують блокування можливих наслідків на стадії їх виникнення та не дозволять проходження несанкціонованих команд керування. Також, навіть коли оператор не буде виконувати своїх обов'язків система не буде формувати небезпечних команд.

Описаний метод можливо взяти за основу подальших досліджень, але при цьому необхідно відзначити, що він не дозволяють врахувати стратегії технічного обслуговування. Тому на теперішній час існує нагальна потреба удосконалення наукових уявлень про стан процесу використання пристроїв та систем ЗА з урахуванням стратегії їх безпечної експлуатації та використання сучасних методів для оцінювання їх показників функціонування.

Проблема забезпечення безпечних властивостей технічних засобів і програмного забезпечення на низових рівнях систем мікропроцесорних централізацій полягає в тому, що внаслідок інформаційної природи мікропроцесорних систем залізничної автоматики, їхні принципи убезпечення досить істотно відрізняються від релейних.[25]

Реалізація пропонованих в проаналізованих джерелах методів та моделей ідентифікації небезпечних станів технічних засобів систем мікропроцесорної централізації вимагають адаптації наявних теоретичних і методичних результатів для розробки нового інформаційного, технічного, математичного забезпечення,

задач діагностування та технології обслуговування, розвитку формалізованих процедур моделювання процесів прийняття рішень.

1.2. Аналіз впливу людини – оператора на безпечність процесу технічної експлуатації засобів залізничної автоматики

Важливе значення для забезпечення безпечності процесу експлуатації засобів ЗА має ергатичний аспект надійності, що враховує участь людини як у функціонуванні, так і в технічному обслуговуванні систем мікропроцесорної централізації.

У науковому обігу людський фактор розглядається здебільшого як чинник, пов'язаний із роботою експлуатаційного штату, що безпосередньо використовує МПЦ як систему керування, в той час як аспекти діяльності обслуговуючого (технічного) персоналу не отримують належної уваги.

У силу специфічних особливостей, помилки персоналу при технічному обслуговуванні (ТО) виявляються у формі, що відрізняється від тої, яка може відбуватись на робочому місці чергового по станції або поїзного диспетчера.

Зростаюча складність МПЦ, рівень їх автоматизації з одного боку зменшують навантаження на експлуатаційний персонал, проте з іншого суттєво підвищують вимоги до технічних фахівців, що їх обслуговують. Це призводить до перерозподілу помилок від однієї категорії персоналу до іншої, що створює потенційну можливість виникнення транспортних подій через сполучення процедурних або технічних відмов із помилками експлуатаційного та технічного персоналу, яке у свою чергу, може призвести до зниження рівня безпеки руху, якщо своєчасно не вжити захисних заходів.

Причинами транспортних подій рідко бувають винятково помилкові дії експлуатаційного персоналу, вони є результатом взаємозалежного впливу цілого ряду чинників, уже наявних у транспортній системі.

При розгляді подій, причиною яких була помилка людини, ми в більшості випадків розглядаємо ті, що стосуються окремих особистостей і внаслідок цього вирішення проблем орієнтовані на конкретних «людей – операторів». При цьому організаційні помилки при виконанні ТО: повнота, якість виконання робіт і ефективність контролю не враховуються, а іноді навіть не беруться до уваги.

На рисунку 1.5 подано існуючу структуру ТО при поточній експлуатації систем залізничної автоматики.

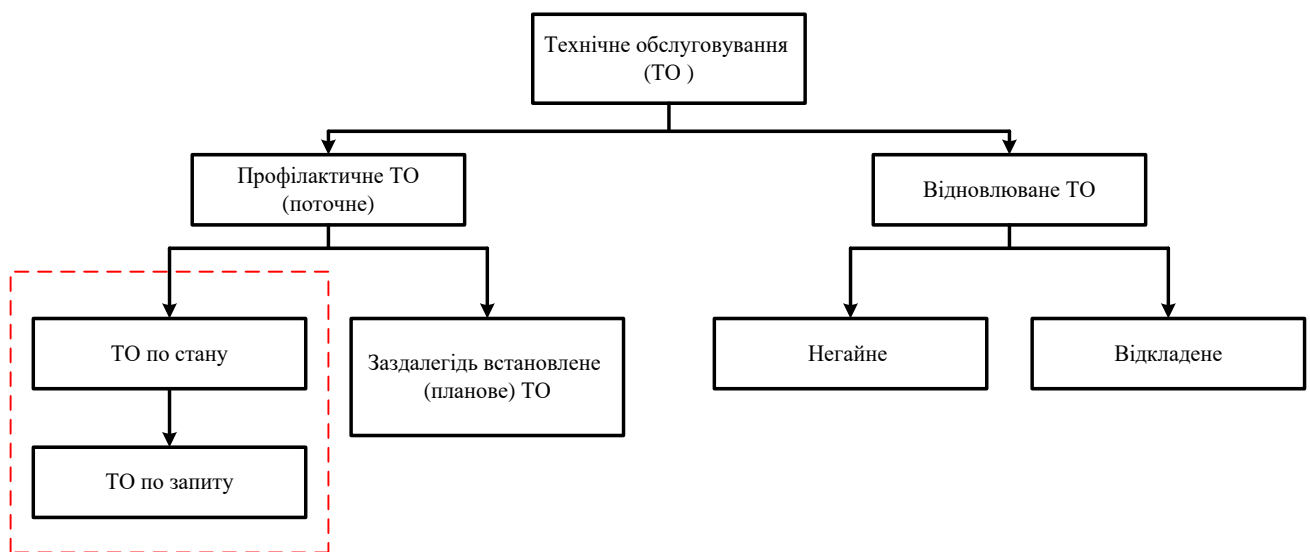


Рисунок 1.5 – Існуюча структура ТО при поточній експлуатації систем залізничної автоматики

При поточній експлуатації засобів ЗА має місце багатоетапне технічне обслуговування [26, 27] де кожен вид робіт відрізняється своїм значенням повноти відновлення і періодичністю його виконання, що регламентовані нормативними актами, а також взаємопов'язаний з результатами виконання технічного обслуговування технічних засобів інфраструктури споріднених галузей.

Сучасні системи мікропроцесорних централізацій є складними резервованими, багаторівневими, такими, що відновлюються, із різноманітними

видами відмов як технічної, так і людських ланок системи в яких частково реалізовано можливість проведення технічного обслуговування по стану або по запиту. Тому особливе місце в їх удосконаленні посідають питання створення сприятливих умов для роботи технічного персоналу і поліпшення організації й інформаційного забезпечення процесів ТО. При вирішенні даної проблематики крім загальних вимог висувається ряд спеціальних:

- урахування реальної структури системи, взаємодії підсистем і режимів роботи;
- спільний вплив різноманітних видів відмов техніки і помилок людини;
- вплив умов експлуатації, дій обслуговуючого персоналу й урахування їхнього функціонального стану;
- урахування організаційної структури підприємств при виконанні ТО й удосконалювання інформаційних потоків між структурними елементами;
- можливість коректування і розвитку методів оцінки;
- можливість розробки різноманітних заходів щодо підвищення надійності.

На рисунку 1.6 подано порядок ідентифікації та локалізації пошкоджень пристроїв ЗА без застосування техобслуговування по поточному стану.



Рисунок 1.6 – Порядок ідентифікації та локалізації пошкоджень пристроїв ЗА без застосування техобслуговування по поточному стану

Хоча цей порядок на протязі багатьох десятиліть довів свою ефективність, сучасні вимоги до експлуатації ЗА потребують перегляду існуючих методів технічного обслуговування.

На рисунку 1.7 подано приклад складання планів і графіків при використанні техобслуговування по поточному стану. У разі завчасного виявлення назріваючої відмови є час на те, щоб спланувати всі заходи, замовити запасні частини, визначити графік, і провести ремонт до того, як відбудеться несправність.

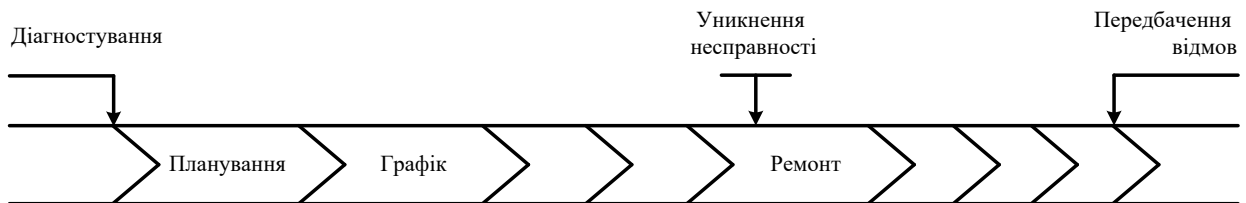


Рисунок 1.7 – Порядок складання планів і графіків при використанні техобслуговування по поточному стану

Таким чином визначено, що якість ТО є однією з найважливіших складових частин забезпечення безпечної, надійної та безвідмовної експлуатації систем мікропроцесорної централізації що потребує як можливо швидшого переходу до технічного обслуговування по поточному стану.

1.3 Теоретичне узагальнення наукових досліджень з питань формування оперативної оцінки безпеки технічної експлуатації систем залізничної автоматики.

Більшість досліджень в області управління ризиками підприємств залізничного транспорту розглядають різноманітні аспекти оцінки ризиків небажаних подій у транспортних процесах, що безпосередньо пов'язані з управлінням ризиками, та направлені на побудову корпоративних систем управління ризиком на практиці. Але з іншого боку, замало досліджень

проводиться в напрямі посилення контролю над незапланованими матеріальними і фінансовими витратами при експлуатації обладнання ЗА, а також зниженням збитку від виходу його з ладу. В цьому сенсі управління ризиками потрібно розглядати як логічний і систематичний процес, який можна застосовувати для вибору методів подальшого вдосконалення діяльності не підприємств, а підвищення ефективності функціонування систем мікропроцесорної централізації в процесі експлуатації і ТО.

Системи МПЦ при тривалому функціонуванні схильні до впливу помилок (пошкоджень) і відмов всередині системи, заважаючих впливів умов експлуатації та джерел помилок (пошкоджень), яким піддається система під час робіт з технічного обслуговування. Тому доцільно проведення аналіз ризиків, тобто наскільки часто відбуваються порушення в роботі системи через відхилення параметрів елементів системи та іншого пов'язаного з ним обладнання, а також помилок персоналу.

Згідно EN 50126 [4] всі залізничні системи протягом життєвого циклу піддаються різноманітним впливам та ризикам. Вимоги аналізу ризиків полягають у наступному:

- систематичний пошук і класифікація всіх ризиків, можливих при нормальних умовах;
- ідентифікація прихованих загроз;
- виявлення частоти виникнення подій, пов'язаних з існуючими загрозами;
- виявлення та оцінка розміру впливів існуючих загроз;
- виявлення ризику для системи, пов'язаного з кожною загрозою;
- визначенні та класифікації допустимості ризиків що відповідають кожній відомій загрозі її виникнення;
- розробці протоколу загроз як базису для управління ризиком.

Будь яка система мікропроцесорної централізації має визначені стадії життєвого циклу від розробки до утилізації, тому на кожному етапі можливо

застосовувати різні методи оцінювання і пропонується розділити цей період на декілька стадій.

Як відомо з [14] перша стадія роботи (стадія 1) має на меті визначення і виявлення в загальних рисах потенційних небезпек, тобто

- виявити джерела небезпеки;
- визначити частини системи, які можуть викликати ці небезпечні стани;
- ввести обмеження на аналіз небезпек, що є властивими саме для цієї системи.

У випадку виявлення подій, які ведуть до виникнення небезпечних ситуацій, проводиться більш точна процедура попередній аналіз небезпек (ПАН) яка є першою спробою виявити обладнання (елементи) системи і окремі події, які можуть привести до виникнення небезпеки, який можна представити як дерево рішень. Цей аналіз доцільно проводити на початковому етапі розробки системи де можливо намітити запобіжні заходи, щоб виключити або знизити ці небезпеки.

Другою стадією (стадія 2) є виявлення послідовності небезпечних ситуацій, з використанням для оцінки ймовірності таких аналітичних методів прогнозування як дерево подій та дерево відмов і починається після того як вибрано обладнання та визначена конфігурація системи.

Дерево рішень, як різновид дерева подій, можливо застосовувати у випадках коли всі можливі стани системи виражаються через стани елементів, тобто їхні стани взаємно ув'язані, і їх вірогідність в сумі дорівнює 1 і якщо відмови всіх елементів незалежні або якщо є елементи з кількома можливими станами і є односторонні залежності.

Третя стадія (стадія 3) - аналіз наслідків, один із прийомів аналізу рішень - аналіз видів відмов і наслідків (АВВН): на основі послідовного розгляду одного елемента за одним аналізуються всі можливі види відмови чи аварійні ситуації та вдається виявити їх результуючий вплив на систему.

Для проведення аналізу ризиків на етапі експлуатації та технічного обслуговування систем мікропроцесорних централізацій також доцільно використовувати:

- аналіз критичності - вивчення небезпек і працездатності (розширений варіант АВВН) за рахунок включення в аналіз показників працездатності на додаток до розгляду різних видів відмов обладнання;
- аналіз причин – наслідків - вибір ініціувальної події, за яким ідуть інші події .

В ході проведення аналізу знаходяться відповіді на наступні питання:

- за яких умов ця подія веде до розвитку подальших подій;
- на які інші елементи впливає дана подія;
- яка наступна подія викликається даною подією.

Доцільно також використовувати комбіновані методи дерева відмов (виявити причини) і дерева подій (показати наслідки), причому всі явища розглядаються в природній послідовності їх появи [14].

Згідно стандартів ІЕС/ISO 31010:2009, IDТ та ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Risk management — Risk assessment techniques (Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику) [28] визначено що процес керування ризиком допомагає приймати рішення з урахуванням невизначеності та можливості настання майбутніх подій чи обставин (навмисних або ненавмисних) і їхніх впливів на узгоджені цілі.

Загальне оцінювання ризику дає можливість мати структурований процес, у ході якого визначають існуючі впливи, а також аналізують ризик стосовно наслідків та їхніх імовірностей.

Організація ризик-менеджменту являє собою систему заходів, спрямованих на раціональне поєднання всіх його елементів в єдиній технології процесу управління ризиком, що включає в себе етапи наведені на рисунку 1.8.

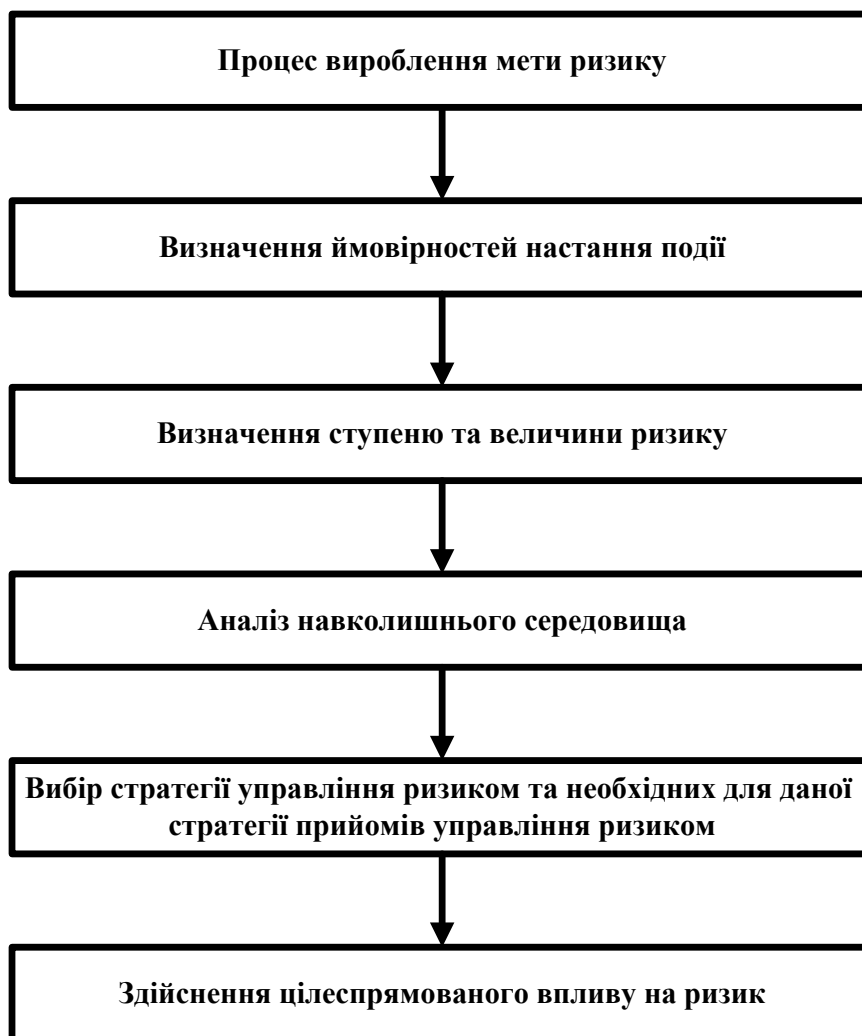


Рисунок 1.8 – Етапи організації ризик - менеджменту.

Для визначення цих етапів в першу чергу необхідне визначення чисельних значень ймовірності настання ризикових подій та їх наслідків, тобто здійснення кількісної оцінки ступеня ризику та визначення допустимого в даній конкретній обстановці рівня ризику. [29]

Всі відмови систем мікропроцесорних сигналізацій таким чи іншим чином пов'язані з людською діяльністю: помилки оператора, дефекти конструкції, помилки при проведенні ТО; або ті що стосуються обладнання - неправильні сигнали відповідальних елементів; фізичний знос і старіння; або пов'язані з навколишнім середовищем - повені, урагани, зсуви і т.п. Небезпеки в системах

досить часто викликаються поєднанням відразу кількох типів відмов, тобто відмовами обладнання плюс помилка людини і (або) стихійного лиха.

Загальний підхід, описаний в стандартах та джерелах [28, 31, 32, 33] відбиває принципи та керівництва для управління будь-якою формою ризиків для будь-якої галузі протягом всього життєвого циклу організації або сиситем. Таким чином, нам необхідно використати та адаптувати науково – методологічний апарат ризик-менеджменту для застосування в подальшій роботі з розробки та удосконалення методів та моделей ідентифікації, оцінювання та локалізації небезпечних станів систем мікропроцесорних централізацій та оперативного визначення технічного стану пристроїв залізничної атоматики з урахуванням їх технічної експлуатації і технічного обслуговування.

Як відомо із [29] оцінка ризику – це аналіз причин його виникнення і масштабів прояву в конкретній ситуації. У міжнародній практиці поширеним підходом до оцінки ризиків є так звана « П'яти крокова система» (рисунок 1.9). Після адаптації вищезазначеної системи до задач дослідження ці етапи можливо викласти як:

1. Ідентифікація небезпек – потенційно можливі місця заподіяння шкоди та визначення персоналу що задіяний в цьому процесі.
2. Оцінювання та «ранжирування» ризиків.
3. Визначення превентивних заходів - ідентифікація заходів для виключення ризиків та управління ними.
4. Вжиття процедури реалізації захисних та превентивних заходів.
5. Моніторинг та перевірка - оцінку результатів для застосування при модернізації системи, змінах технології керування або ТО та ін.[32]

Оцінка ризику це процес, що поєднує ідентифікацію, аналіз і порівняльну оцінку для всієї системи, окремих її компонентів або конкретної небезпечної події. Тому в різних ситуаціях можуть бути застосовані різні методи оцінки.

Після завершення оцінки ризику приймається і виконується одне або декілька рішень про обробку ризику, що дозволяють змінити ймовірність виникнення небезпечної події та / або її вплив.

Для різних стадій життєвого циклу встановлені різні вимоги і застосовні різні методи оцінки ризику і зазвичай їх багаторазово використовують із різними рівнями деталізації на кожній стадії для прийняття рішень.

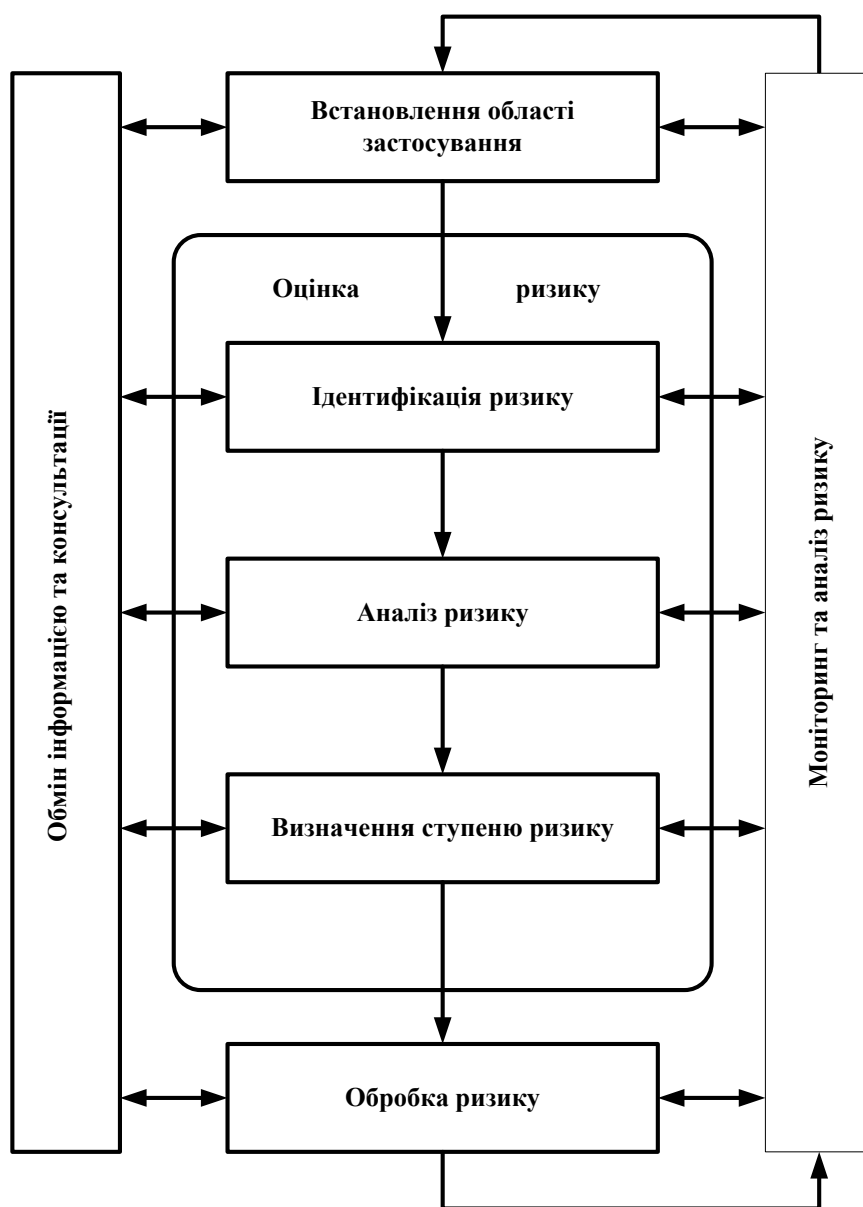


Рисунок 1.9 – Структурна схема «П'ятикрокової системи» процесу ризик-менеджменту

Всі існуючі системи мікропроцесорної централізації протягом життєвого циклу піддаються різноманітним впливам та ризикам:

- апаратні ризики, пов'язані з використанням нового апаратного забезпечення або доопрацюванням вже існуючого для підвищення продуктивності або досягнення принципово нової функціональності;

- програмні ризики, пов'язані з придбанням або використанням складного програмного забезпечення або систем, що розроблені за індивідуальним замовленням.

Якість програмного коду також має великий вплив на властивості систем МПЦ на всіх етапах життєвого циклу, відповідно це призводить до появи певних небезпек (ризиків), які можуть перейти в серйозні відхилення або невідповідності.

Третьою категорією є ризики що враховують можливість помилок людини в процесі експлуатації і проведення ТО.

Сучасні методики оцінювання ризиків не дозволяють у повному обсязі виявити і належним чином оцінити їх під час проектування, розроблення, впровадження та технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації. [34]

На сьогоднішній день існує достатня кількість методів оцінки ризику які можливо використовувати для дослідження в предметній області, з урахуванням різних етапів життєвого циклу системи. На стадії розробки та проектування можливо використовувати: Метод попереднього аналізу небезпек (РНА) (Preliminary Hazard Analysis); Аналіз видів і наслідків відмов, та аналіз видів, наслідків та критичності відмов (FMEA – Failure Mode Effect Analysis); Аналіз дерева несправностей (FTA); Аналіз дерева рішень; Аналіз прихованих дефектів і аналіз паразитних кіл (SA – Sneak Analysis).

В процесі постійної експлуатації доцільно використовувати: дослідження HAZOP - дослідження безпеки і працездатності (Hazard and Operability Study); метод SWIFT (Structured what-if technique); аналіз видів і наслідків відмов, та аналіз видів, наслідків та критичності відмов (FMEA – Failure Mode Effect

Analysis); аналіз дерева несправностей (FTA) - Fault Tree Analysis; Аналіз дерева подій (ETA) – Event Tree Analysis; Метод «Аналіз причин і наслідків»; причинно-наслідковий аналіз (діаграма Ісікави); метод LOPA – Layers of Protection Analysis; Аналіз впливу людського фактора (HRA) – Human Reliability Assessment; Аналіз «краватка-метелик»; технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності (RCM); «Марківський аналіз».

1.4 Формулювання цільової функції дослідження

Для визначення стратегії досягнення кінцевого результату введемо деякі змінні, що характеризують питання що потребують вирішення:

- мету роботи;
- множину показників що необхідно покращити;
- стратегію та засоби по досягненню цілей;
- інструментарій для досягнення результатів.

Метою дисертаційної 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.

Тобто ми можемо вивести наступні цілі:

- необхідність покращення якості оцінювання технічних станів систем мікропроцесорної централізації при існуючих обмеженнях вхідних даних;
- мінімізація ресурсів на технічне обслуговування систем за рахунок оперативності виявлення передвідмовних станів.

Таким чином, ми можемо представити множину показників що необхідно покращити у такому вигляді

$$F = P_{\partial}(x_1, x_2 \dots x_n) \rightarrow \max \quad (1.1)$$

де P_{∂} – ймовірність оцінювання.

Для досягнення цього планується провести дослідження що направлені на покращення:

1. достовірності обробки мікростатичних даних $P [\min(\Delta t)] \rightarrow \max$;
2. якості інтерактивної взаємодії персоналу і технічних засобів $F(S, E, T)$

де:

- S – множина технічних засобів;
- E – множина експлуатаційного персоналу;
- T – множина технічного персоналу.

3. якості проведення технічного обслуговування $Q(ТО) \rightarrow \max$;
4. та скорочення загальних експлуатаційних витрат $\Sigma S_e \rightarrow \min$.

Для реалізації пункту 1 необхідно використовувати – теорію стійкості, теореми лінійної алгебри, математичний апарат теорії ймовірності та математичної статистики, теоретичні положення булевої логіки.

Для пункту 2 - теорію графів, системний аналіз, методи оптимізації алгоритмів.

Для пункту 3 – методологію та теоретичні основи побудови і безпечної експлуатації засобів залізничного транспорту, теорію масового обслуговування, науково-методолігічний апарат ризик-менеджменту, сучасні методи дослідження причин та наслідків порушень.

Скорочення загальних експлуатаційних витрат стане можливим за рахунок зменшення:

- кількості експлуатаційного персоналу;
- інтенсивності відмов $\lambda \rightarrow \min$;
- часу технологічних затримок.

Для досягнення мети дослідження проведений попередній аналіз існуючих методів та виявлено, що сучасні наукові розробки не вирішують поставленого

завдання, у повній мірі не використовуються можливості системного підходу до процесів безпечного використання засобів залізничного транспорту. Також це неможливо зробити існуючими технічними та технологічними засобами.

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.

При вирішенні поставлених завдань необхідно також враховувати наступне.

При розробці методу метод оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації необхідно враховувати ряд факторів що ускладнюють використання класичних методів статистики [39, 40, 41]:

- відносно невеликий досвід експлуатації мікропроцесорних систем керування рухом поїздів на залізничному транспорті України в умовах незначного обсягу їх впровадження, що обмежує обсяг статистичних вибірок та їх репрезентативність;

- обмежений доступ до інформації щодо статистики відмов у процесі експлуатації МПЦ в зарубіжних країнах, через що ускладнюється формування об'єктивної статистичної картини, яка б дозволила використання класичних методів її оцінки;

- реалізовані високі вимоги щодо надійності та безпечності функціонування таких систем, при яких випадки дефектів та порушень при виникненні пошкодження є край рідким явищем, що, накладаючись на загальний дефіцит статистичних даних, фактично унеможливує їх класичну обробку.

Аналітичне прогнозування відмов апаратних пристроїв залізничної автоматики є необхідною умовою забезпечення їх високої надійності та безпеки використання [35–40], в той час як спільним недоліком більшості відомих методів в галузі залізничної автоматики [41–50] є орієнтація на значний обсяг статистичних даних (результатів спостережень, тестів тощо). Тому доцільно

використовувати результати досліджень [51–53] в аспекті встановлення достовірності результатів випробувань систем мікропроцесорної централізації для розроблення методів оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних про пошкодження апаратних компонентів в процесі експлуатації.

За рахунок використання різних методів апарату теорій множин, груп, графів та матриць сформовано ряд підходів [36, 54–57], які дозволили на декілька порядків підвищити рівень функційної безпечності систем ЕЦ та збільшити ефективність їх технічного контролю. З певними модифікаціями запропоновані в зазначених роботах методи, моделі та засоби можуть бути використані для цілей, пов'язаних із функціонуванням систем ЕЦ й інших засобів залізничної автоматики. Але, не дивлячись на значний обсяг досліджень, слід констатувати невизначеність їхніх результатів щодо уніфікації представлення об'єктів керування та контролю (ОКК) та пов'язаних із ними маршрутів для обробки на ЕОМ з метою формування прикладного програмного забезпечення (ППЗ) та дослідження надійності й функційної безпечності систем ЕЦ. Зокрема, встановлені зв'язки та взаємовідношення між ОКК в проаналізованих роботах мають м'який характер, а їх математична інтерпретація не встановлює логічних залежностей між їхнім станом та виконуваними функціями. Такий порядок речей не дозволяє використовувати відомі моделі ОКК й маршрутизації залізничних станцій з метою формалізації взаємозалежностей між ними, без чого неможлива чітка алгоритмізація технологічних процесів й дослідження функціональних властивостей щодо систем ЕЦ, особливо мікропроцесорного та релейно-процесорного виконання. Тобто необхідно формалізувати представлення взаємозалежностей між ОКК при формуванні та реалізації станційних маршрутів шляхом їх моделювання на основі функціональної ознаки та удосконалити модель оперативного визначення показників безпеки при формуванні поїзних та маневрових маршрутів на основі структурних функцій.

З метою реалізації принципово нові задачі - об'єднання в єдиний комплекс

систем та пристроїв залізничної автоматики різного призначення, реалізуючи системну інтеграцію та уніфікацію на всіх рівнях, необхідно створення моделей структур мікропроцесорних централізацій та дослідження їх програмних конфігурацій та взаємодії між їх елементами. Це примушує кардинально переробити логіку функціонування цих систем та пристроїв, використовуючи підходи та інструменти «Індустрії 4.0» та методи інших галузей. Наприклад, для забезпечення залізничного транспорту малої місткості властивостями адаптивного управління розроблена математична модель [58] оптимізована з допомогою справжнього кодованого генетичного алгоритму.

Аналіз структур сучасних мікропроцесорних централізацій найбільш ефективно здійснювати використовуючи теорію графів [59], яка використовується для вирішенні різноманітних задач, зокрема застосування методу визначення максимальних клік в неорієнтованих графах [60]. Модель визначення стану пристроїв та прогнозування технічного стану систем мікропроцесорних централізацій в умовах обмежених статистичних даних детально розглянута в роботі [61]. Робота [62] дає можливість виявляти «слабкі» місця в структурі та аналізувати поведінку системи. В роботі [63] наведена класифікація структур по ступеню централізації і в відповідності до цього проводяться обчислення кінематичних властивостей структур. Але не вистачає загального погляду на систему, що складається з більш простих структур та не розглянуті некінематичні характеристики системи.

При аналізі публікацій [64–72] виявлено, що деякі методи дослідження систем є складними для розуміння, або ж не застосовувалися до систем мікропроцесорних централізацій, тому для дослідження структур систем МПЦ пропонується використовувати графоаналітичний метод, який є простим та зрозумілим.

Важливою перевагою моделі у вигляді графа є можливість ефективного застосування комп'ютерних технологій для автоматизації виявлення різних властивостей, параметрів та поведінки досліджуваних систем. На даний час їх

існує велика кількість середовищ математичного моделювання, але не всі вони є простими та зрозумілими для дослідника, проектувальника тим більше для обслуговуючого персоналу [73–88].

Одним із способів реалізації інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів, яка забезпечує розширення функційних можливостей та підвищення функційної безпечності систем мікропроцесорної централізації є використання стандартної глобальної мережі Інтернет із підключенням до мобільного АРМа.

Перевагою такого підходу є простота реалізації та широкий радіус доступу до діагностичної інформації (практично з будь-якої точки світу, яка охоплюється глобальним «павутинням» Інтернету). Але суттєвим недоліком використання мережі Інтернет є забезпечення захищеності лінії передачі даних. На теперішній час цей недолік можливо усунути за рахунок використання хмарних технологій [89 – 100, 125], що потребує окремого дослідження.

Виходячи з проведеного аналізу принципів та методів підвищення безпеки технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації визначено що як на стадії розробки, так і на стадії експлуатації необхідно враховувати:

- виконання оцінки оперативних показників функціонування та ймовірностей виникнення небезпечних ситуацій;
- блокування можливостей негативного розвитку подій й прояву небезпечних подій в майбутньому, із можливістю автоматичної видачі рекомендацій експлуатаційному персоналу про найбільш ефективні та безпечні варіанти реалізації команд керування, в залежності від стану системи мікропроцесорної централізації.

Таким чином удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації може бути досягнуто шляхом оперативного виявлення порушень на більш ранній стадії, за рахунок оперативного виявлення небезпек та їх послідууючої локалізації, зменшення витрат часу на пошук та усунення пошкоджень.

Структурна схема цільової функції дослідження подано на рисунку 1.10

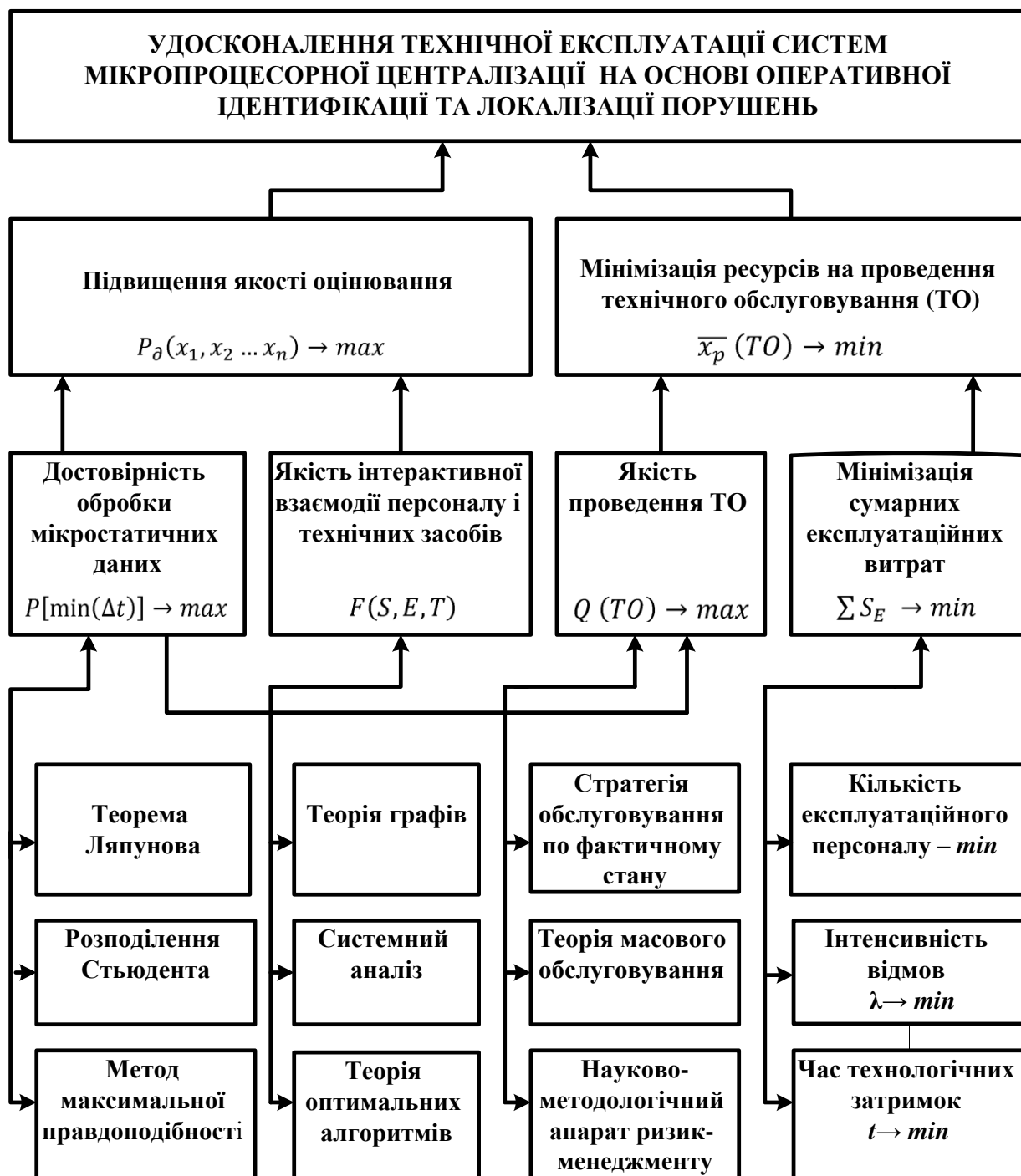


Рисунок 1.10 – Структурна схема цільової функції дослідження.

1.5 Висновки до розділу 1

1. Проведений аналіз причин транспортних подій на залізницях загального та незагального користування, які віднесені за господарствами сигналізації та зв'язку з вини експлуатаційного штату.

2. Проаналізовано метод локалізації небезпечних подій що виникають у роботі систем залізничної автоматики, який враховує більшу кількість небезпечних факторів, їх взаємну дію та можливі негативні наслідки цього процесу на безпеку використання засобів ЗА.

3. Проведено аналіз існуючої технології обслуговування при поточній експлуатації систем залізничної автоматики та обґрунтована необхідність в розробці нового підходу який передбачає використання прогресивної технології обслуговування пристроїв «за станом».

4. Визначено важливе значення для забезпечення безпеки експлуатації систем мікропроцесорної централізації має аспект надійності, що враховує участь людини як у функціонуванні, так і в технічному обслуговуванні МПЦ.

5. Запропановано застосування науково-методолігічного апарату ризик-менеджменту та визначені методи оцінки ризику, які можливо використовувати для удосконалення процесу технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації.

6. Встановлен що існуючі системи мікропроцесорної централізаціх на протязі життєвого циклу знаходяться під впливом ризиків:

- апаратні ризики, пов'язані з використанням нового апаратного забезпечення або доопрацюванням вже існуючого;

- програмні ризики, пов'язані з придбанням або використанням складного програмного забезпечення або систем розроблених за індивідуальним замовленням, і якість програмного коду;

- ризики що пов'язані з проведенням ТО (урахування можливих помилок людини в процесі експлуатації і проведення ТО).

7. Сформульована цільова функція дослідження та визначено необхідність розробки комплексу методів та моделей що можуть забезпечити виявлення порушень на більш ранній стадії за рахунок оперативного виявлення небезпек та їх послідуочу ідентифікацію, оцінку та локалізацію.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ БЕЗПЕКИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ

2.1 Метод забезпечення безпечного функціонування системи мікропроцесорної централізації на основі концепції ризик менеджменту

Однією з ключових проблем, що виникають при розробці та впровадженні сучасних систем залізничної автоматики, а саме систем мікропроцесорної централізації, поряд із доказом і забезпеченням необхідного рівня надійності й функційної безпечності, є оцінювання їх технічного стану, та реалізація ефективного контролю в процесі технічної експлуатації [33, 34, 101–109].

Теперішній етап розробки та впровадження систем залізничної автоматики характеризується не тільки зміною елементної бази, а і їх філософії та ідеології. При цьому одним з важливих питань є формалізація логіки роботи цих систем, зокрема систем мікропроцесорної централізації. Тому на першому етапі необхідно формалізувати опис логіки їх роботи та встановити певні обмеження.

Приймаємо що будь який об'єкт залізничної автоматики має декілька станів S_j в різних режимах роботи що характеризується набором параметрів $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$.

Введемо обмеження стосовно представлення процесу його функціонування що кожний із зазначених параметрів може приймати тільки два значення: 0 та 1. Присутність якості, властивої параметру a_i кодується «1» і навпаки, відсутність зазначеної властивості кодується значенням «0». Таким чином кожному стану досліджуваного об'єкта S_j , ставиться у відповідність набір ознак параметрів, що характеризують його поведінку в штатному, або нештатному режимах роботи (таблиці 2.1).

Таблиця 2.1 – Кодування параметрів станів об'єктів залізничної автоматики

Об'єкти	Стан об'єктів	Перелік параметрів, що характеризують стан об'єкта				
		a_1	a_2	a_3	...	a_n
Об'єкт 1	Стан $S1$	1	1	0	...	1
	Стан $S2$	1	0	1	...	1
	Стан $S3$	0	0	1	...	0

Об'єкт n

Наведена форма запису є основою для розроблення моделі й найбільш зручною при створенні програмного забезпечення систем мікропроцесорної централізації. Кількість станів і переходів об'єкта, що моделюється, істотно залежить від схеми перетворення інформації.

Для систем залізничної автоматики встановимо наступний перелік станів, який більш повно відображає специфіку їх використання :

- штатний стан $S_{ш}$;
- позаштатний запланований, безпечний стан $S_{п.з}$;
- позаштатний не запланований, безпечний стан $S_{п.н.}$;
- позаштатний небезпечний стан $S_{н.н}$;
- стан транспортної події $S_{т.п}$;

Позаштатний запланований безпечний стан $S_{п.з}$ характеризує систему при проведенні технологічного обслуговування, профілактичних або ремонтних робіт, при цьому рух поїздів продовжується з відповідними обмеженнями що регламентуються нормативними актами з безпеки руху та технології обслуговування. Позаштатний не запланований безпечний стан $S_{п.н}$ характеризує систему при виникненні пошкодження, виявлення його причин та відновлення.

Існуючий регламент відновлення пристроїв ЗА після пошкоджень передбачає що воно також відбувається у позаштатному запланованому безпечному стані.

Система може переходити зі штатного стану $S_{ш}$ до позаштатного запланованого $S_{п.з.}$, або позаштатного не запланованого $S_{п.н.}$. З позаштатного не запланованого система повертається у позаштатний запланований, де відбувається відновлення її властивостей, й далі переходить до штатного стану, рисунок 2.1.

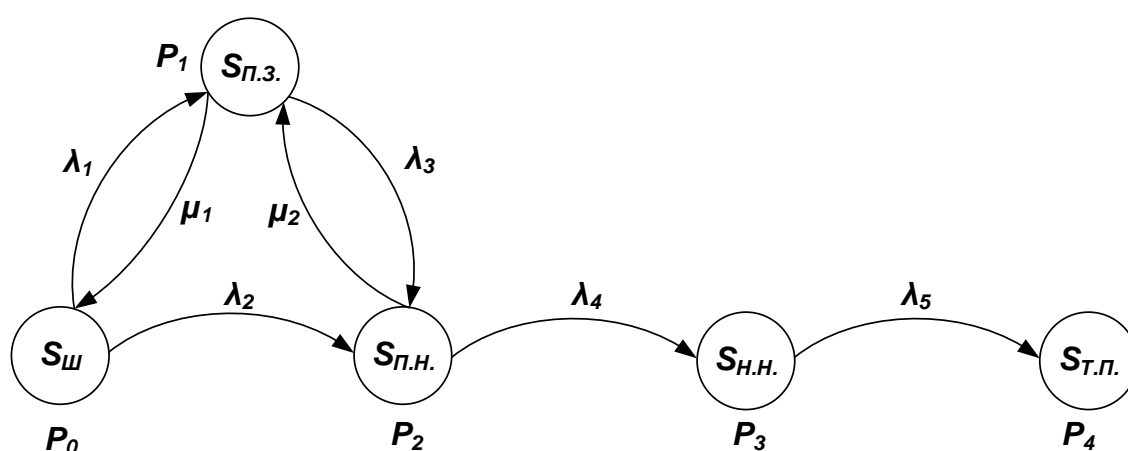


Рисунок 2.1 – Граф станів процесу використання засобів залізничної автоматики

Послідовність переходів $S_{ш} \rightarrow S_{п.з.} \rightarrow S_{ш}$ відповідає плановим профілактичним роботам. Виникнення пошкодження, його виявлення персоналом й усунення описується послідовністю: $S_{ш} \rightarrow S_{п.н.} \rightarrow S_{п.з.} \rightarrow S_{ш}$.

Небезпечні алгоритми переходів завершуються в стані $S_{т.п.}$.

$S_{ш} \rightarrow S_{п.з.} \rightarrow S_{п.н.} \rightarrow S_{н.н.} \rightarrow S_{т.п.}$, або $S_{ш} \rightarrow S_{п.н.} \rightarrow S_{н.н.} \rightarrow S_{т.п.}$.

Перехід із стану транспортної події та позаштатного небезпечного стану до нештатного запланованого відображає процес ліквідації наслідків транспортних подій (ТП) і дослідження цих переходів не розглядається.

Відновлювальні роботи в транспортній галузі завжди виконуються у нештатному безпечному стані $S_{п.з.}$ з послідуочим переходом до штатного $S_{ш}$ за

рахунок чого і підтримується належний рівень безпеки. У випадках невиконання даної процедури (послідовності дій) створюються умови для виникнення транспортних подій.

Таким чином кількість станів системи дорівнює п'яти, з них небезпечними є нештатний незапланований небезпечний стан $S_{н.н.}$ та стан транспортної події $S_{т.п.}$.

Безпечне функціонування системи можливе лише в станах $S_{ш.}$, $S_{п.з.}$ і $S_{п.н.}$. Воно характеризується функцією безпеки $P_0(t)$, що пов'язана з функцією $Q_n(t)$ відомим співвідношенням, яке характеризує варіанти можливого розвитку подій в процесі виконання експлуатаційної роботи залізниці [110]

$$P_0(t) + Q_n(t) = 1.$$

Для розробленого графу станів можна записати систему диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned} P'_0(t) &= -(\lambda_1 + \lambda_2) P_0(t) + \mu_1 P_1(t) \\ P'_1(t) &= \lambda_1 P_0(t) - (\mu_1 + \lambda_3) P_1(t) + \mu_2 P_2(t) \\ P'_2(t) &= \lambda_2 P_0(t) + \lambda_3 P_1(t) - (\lambda_4 + \mu_2) P_3(t) \\ P'_3(t) &= \lambda_4 P_1(t) - \lambda_5 P_3(t) \\ P'_4(t) &= \lambda_5 P_3(t) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Після використання перетворень Лапласа до системи (2.1), одержимо

$$\begin{aligned} z\bar{P}_0(z) - P_0(0) &= -(\lambda_1 + \lambda_2) \bar{P}_0(z) + \mu_1 \bar{P}_1(z) \\ z\bar{P}_1(z) - P_1(0) &= \lambda_1 \bar{P}_0(z) - (\mu_1 + \lambda_3) \bar{P}_1(z) + \mu_2 \bar{P}_2(z) \\ z\bar{P}_2(z) - P_2(0) &= \lambda_2 \bar{P}_0(z) + \lambda_3 \bar{P}_1(z) - (\mu_2 + \lambda_4) \bar{P}_2(z) \\ z\bar{P}_3(z) - P_3(0) &= \lambda_4 \bar{P}_1(z) - \lambda_5 \bar{P}_3(z) \\ z\bar{P}_4(z) - P_4(0) &= \lambda_5 \bar{P}_3(z) \end{aligned} \quad (2.2)$$

де $\bar{P}_k(z) = \int_0^{\infty} e^{-zt} P_k(t) dt$ – зображення по Лапласу вірогідності $P_k(t)$;

$P'_k(t) \xrightarrow{\cdot} Z\bar{P}_k(Z) - P_k(0)$ – перетворення Лапласа для похідної від функції

$P(t)$.

Для рішення рівнянь (2.2) визначимо умови в початковий момент часу $t=0$:

$$P_0(0) = 1$$

$$P_k(0) = 0$$

$$k = 1, 4 \quad (2.3)$$

Тоді система рівнянь, що розглядається, буде мати такий вигляд

$$\begin{aligned} (z + \lambda_1 + \lambda_2) \bar{P}_0(z) - \mu_1 \bar{P}_1(z) &= 1 \\ -\lambda_1 \bar{P}_0(z) + (z + \mu_1 + \lambda_3) \bar{P}_1(z) - \mu_2 \bar{P}_2(z) &= 0 \\ -\lambda_2 \bar{P}_0(z) - \lambda_3 \bar{P}_1(z) + (z + \mu_2 + \lambda_4) \bar{P}_2(z) &= 0 \\ -\lambda_4 \bar{P}_2(z) + (z + \lambda_5) \bar{P}_3(z) &= 0 \\ -\lambda_5 \bar{P}_3(z) + Z\bar{P}_4(z) &= 0 \end{aligned} \quad (2.4)$$

Після елементарних перетворень

$$\begin{aligned} \bar{P}_1(z) &= \frac{(z + \lambda_1 + \lambda_2)}{\mu_1} \bar{P}_0(z) - \frac{1}{\mu_1} \\ \bar{P}_3(z) &= \frac{\lambda_4}{z + \lambda_5} \bar{P}_2(z) \\ \bar{P}_4(z) &= \frac{\lambda_5}{z} \bar{P}_3(z) = \frac{\lambda_4 \lambda_5}{z(z + \lambda_5)} \bar{P}_2(z) \\ \bar{P}_1(z) &= \frac{(\lambda_2 \mu_2 + \lambda_1(z + \lambda_4 + \mu_2))}{(\lambda_3 \lambda_1 + \lambda_2(z + \lambda_3 + \mu_1))} \bar{P}_2(z) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Позначимо:

$$(\lambda_2 \mu_2 + \lambda_1(z + \lambda_4 + \mu_2)) = a$$

$$(\lambda_3 \lambda_1 + \lambda_2(z + \lambda_3 + \mu_1)) = b$$

Тоді:

$$\frac{a}{b} \bar{P}_2(z) = \frac{(z+\lambda_1+\lambda_2)}{\mu_1} \bar{P}_0(z) - \frac{1}{\mu_1}$$

$$\bar{P}_0(z) = \frac{1+\mu_1 a P_2(z)}{(z+\lambda_1+\lambda_2)b} = \frac{1}{z+\lambda_1+\lambda_2} + \frac{\mu_1(\lambda_1 z + \lambda_1 \lambda_4 + \lambda_1 \mu_2 + \lambda_1 \mu_2)}{(z+\lambda_1+\lambda_2)(\lambda_3 \lambda_1 + \lambda_2(z+\lambda_3+\mu_1))} P_2(z)$$

Підставимо отримані вирази в третє рівняння системи:

$$-\frac{\lambda_2}{z+\lambda_1+\lambda_2} - \frac{\lambda_2 \mu_1 a}{(z+\lambda_1+\lambda_2)b} \bar{P}_2(z) - \lambda_3 \frac{a}{b} \bar{P}_2(z) + (z+\lambda_4+\mu_2) \bar{P}_2(z) = 0$$

$$\bar{P}_2(z) = \frac{-\lambda_2^2 z d}{-\lambda_2 z^3 + z^2 (\lambda_3 \lambda_1 - d - e \lambda_2 - f \lambda_2) + (\lambda_1^2 \mu_1 + \lambda_3 \lambda_1 (\lambda_1 + \lambda_2) + c \lambda_3 - e f \lambda_2 - e d - f d) z + \lambda_3 \lambda_2 c - e f d}$$

$$\text{де: } c = \lambda_2 \mu_2 + \lambda_1 \lambda_4 + \lambda_1 \mu_2$$

$$d = \lambda_1 \lambda_3 + \lambda_2 \lambda_3 + \lambda_2 \mu_1$$

$$e = \lambda_4 + \mu_3$$

$$f = \lambda_1 + \lambda_2$$

$$m = \lambda_3 \lambda_1 - d - e \lambda_2 - f \lambda_2$$

$$k = (\lambda_1^2 \mu_1 + \lambda_3 \lambda_1 (\lambda_1 + \lambda_2) + c \lambda_3 - e f \lambda_2 - e d - f d) z$$

$$l = \lambda_1 \mu_2 c + \lambda_3 \lambda_2 c - e f d$$

Перепозначимо:

$$\bar{P}_2(z) = \frac{-\lambda_2^2 z - \lambda_2^2 d}{\lambda_2 z^3 + m z^2 + k z + l} = \frac{\lambda_2 z - d}{(z-z_1)(z-z_2)(z-z_3)}$$

$$\text{де: } z_1; z_2; z_3 \text{ корні рівняння } \lambda_2 z^3 + m z^2 + k z + l$$

$$\bar{P}_3(z) = \frac{\lambda_4(-\lambda_2 z - d)}{(z+\lambda_5)(z-z_1)(z-z_2)(z-z_3)}$$

$$\begin{aligned}\bar{P}_4(z) &= \frac{\lambda_5 \lambda_4 (-\lambda_2 z - d)}{z(z + \lambda_5)(z - z_1)(z - z_2)(z - z_3)} \\ &= \frac{\lambda_5 \lambda_4 \lambda_2}{(z + \lambda_5)(z - z_1)(z - z_2)(z - z_3)} \\ &\quad - \frac{\lambda_5 \lambda_4 d}{(z + \lambda_5)(z - z_1)(z - z_2)(z - z_3)}\end{aligned}$$

Випишемо оригінал $\bar{P}_2(t)$ (повернення функції до (t))

$$\begin{aligned}\bar{P}_2(t) &= \frac{-\lambda_2 z_1 - d}{(z_1 - z_2)(z_1 - z_3)} e^{z_1 t} - \frac{\lambda_2 z_2 + d}{(z_2 - z_1)(z_2 - z_3)} e^{z_2 t} \\ &\quad + \frac{\lambda_2 z_3 + d}{(z_3 - z_1)(z_3 - z_2)} e^{z_3 t}\end{aligned}\tag{2.6}$$

$$\begin{aligned}\bar{P}_3(t) &= \lambda_4 \left(-\frac{(\lambda_2 \lambda_5 + d)e^{\lambda_5 t}}{(\lambda_5 - z_1)(\lambda_5 - z_2)(\lambda_5 - z_3)} - \frac{(\lambda_2 z_1 + d)e^{z_1 t}}{(z_1 - \lambda_5)(z_1 - z_2)(z_1 - z_3)} \right. \\ &\quad \left. - \frac{(\lambda_2 z_2 + d)e^{z_2 t}}{(z_2 - \lambda_5)(z_2 - z_1)(z_2 - z_3)} - \frac{(\lambda_2 z_3 + d)e^{z_3 t}}{(z_3 - \lambda_5)(z_3 - z_1)(z_3 - z_2)} \right)\end{aligned}\tag{2.7}$$

$$\begin{aligned}P_4(t) &= -\lambda_4 \lambda_5 \left(\frac{d}{\lambda_5 z_1 z_2 z_3} + \frac{(\lambda_2 \lambda_5 + d)e^{\lambda_5 t}}{\lambda_5 \prod_{i=1}^3 (\lambda_5 - z_i)} + \frac{(\lambda_2 z_1 + d)e^{z_1 t}}{z_1 (z_1 - \lambda_5)(z_1 - z_2)(z_1 - z_3)} \right. \\ &\quad \left. + \frac{(\lambda_2 z_2 + d)e^{z_2 t}}{z_2 (z_2 - \lambda_5)(z_2 - z_1)(z_2 - z_3)} + \frac{(\lambda_2 z_3 + d)e^{z_3 t}}{z_3 (z_3 - \lambda_5)(z_3 - z_1)(z_3 - z_2)} \right)\end{aligned}\tag{2.8}$$

Таким чином ми отримали рішення для визначення ймовірності $P_{i-1}(t)$ перебування системи залізничної атоматки в станах S_i де $i=1,2,3,4,5$ в момент часу (t) та визначення ризику появи нештатного небезпечного стану процесу використання системи мікропроцесорної централізації, зокрема при виконанні технічного обслуговування, профілактичних, ремонтних та відновлювальних робіт з урахуванням можливості виникнення небезпечного перебігу подій внаслідок помилок технічного персоналу при виконанні регламентного технічного обслуговування.

Для отримання числових значень $P_i(t)$ ми маємо необхідність проведення досліджень отримання числових значень λ_i ($i=1,2,3,4,5$) та μ_i ($i=1,2$).

Можливості існуючих систем мікропроцесорної централізації дозволяють в процесі функціонування застосовувати технологію формування безпечних команд, що може бути представлена наступним порядком дій, рисунок 2.2.

Використовуючи результати аналізу що викладені в розділі 1 пропонується використати та адаптувати науково – методологічний апарат ризик - менеджменту для удосконалення методів та моделей визначення функціонування систем мікропроцесорної централізації з урахуванням їх технічного стану, тобто оперативного виявлення, оцінки та локалізації порушень МПЦ.

Пропонований метод безпечного функціонування систем мікропроцесорної централізації на основі процедур ризик-менеджменту рисунок 2.3 можливо розглянути як процедуру або послідовність дій:

1. Ідентифікація факторів ризику небезпек.
2. Визначення можливих загроз.
3. Розроблення моделей сценаріїв розвитку небезпечних ситуацій.
4. Оцінювання ризиків можливих втрат та їх масштабу.
5. Визначення критичних сценаріїв реалізації небезпек.
6. Визначення об'єктів та суб'єктів, які можуть потенційно впливати на появу небезпечної події.

Після цього можливим розвитком може бути Варіант 1:

7.1 Інформування персоналу.

Або Варіант 2:

7.2 Локалізація наслідків реалізації небезпечних сценаріїв шляхом введення обмеження в режим функціонування об'єктів або дій суб'єктів.

7. Формування альтернативних безпечних алгоритмів функціонування МПЦ.

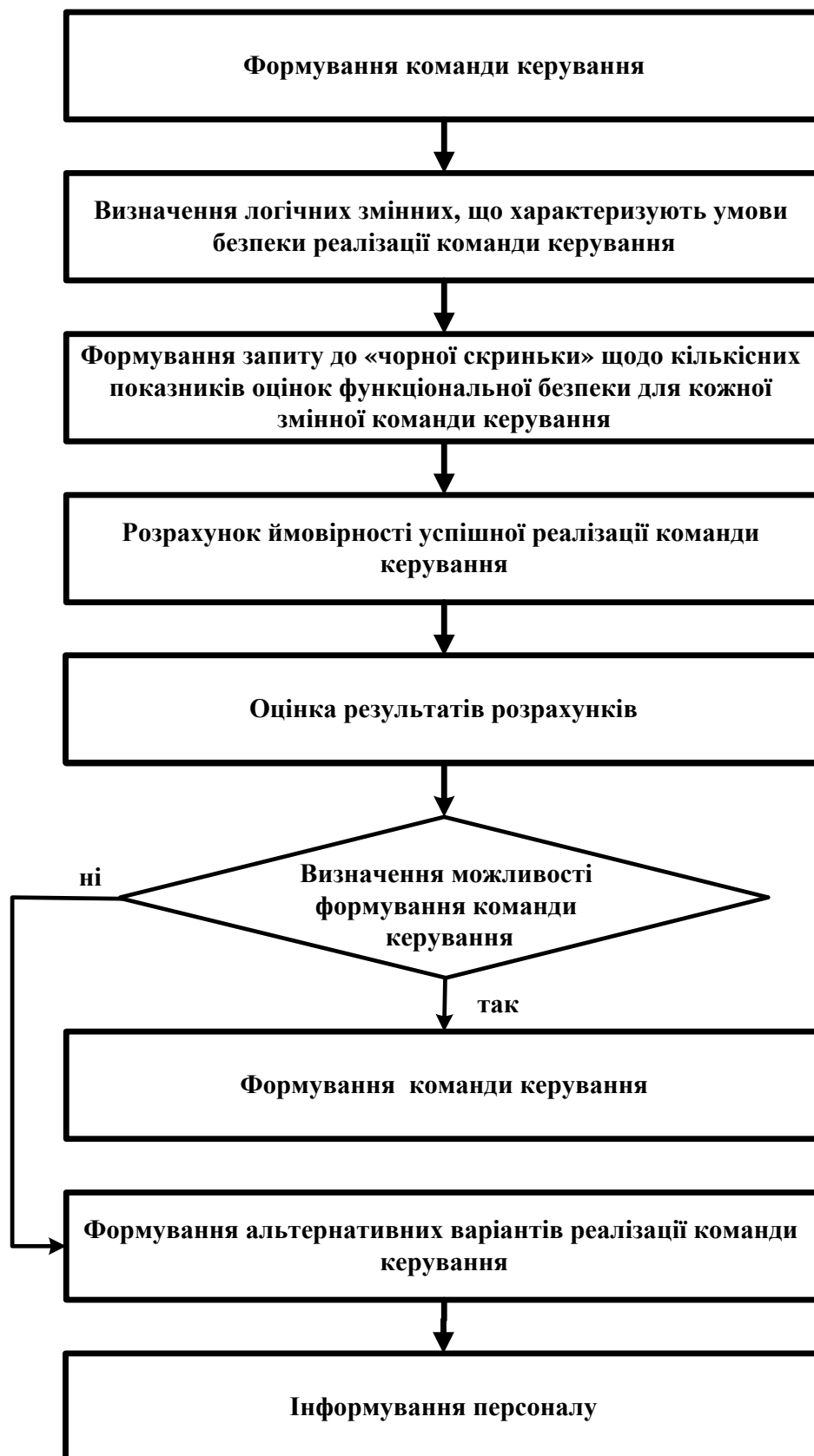


Рисунок 2.2 – Структура технології формування безпечних команд

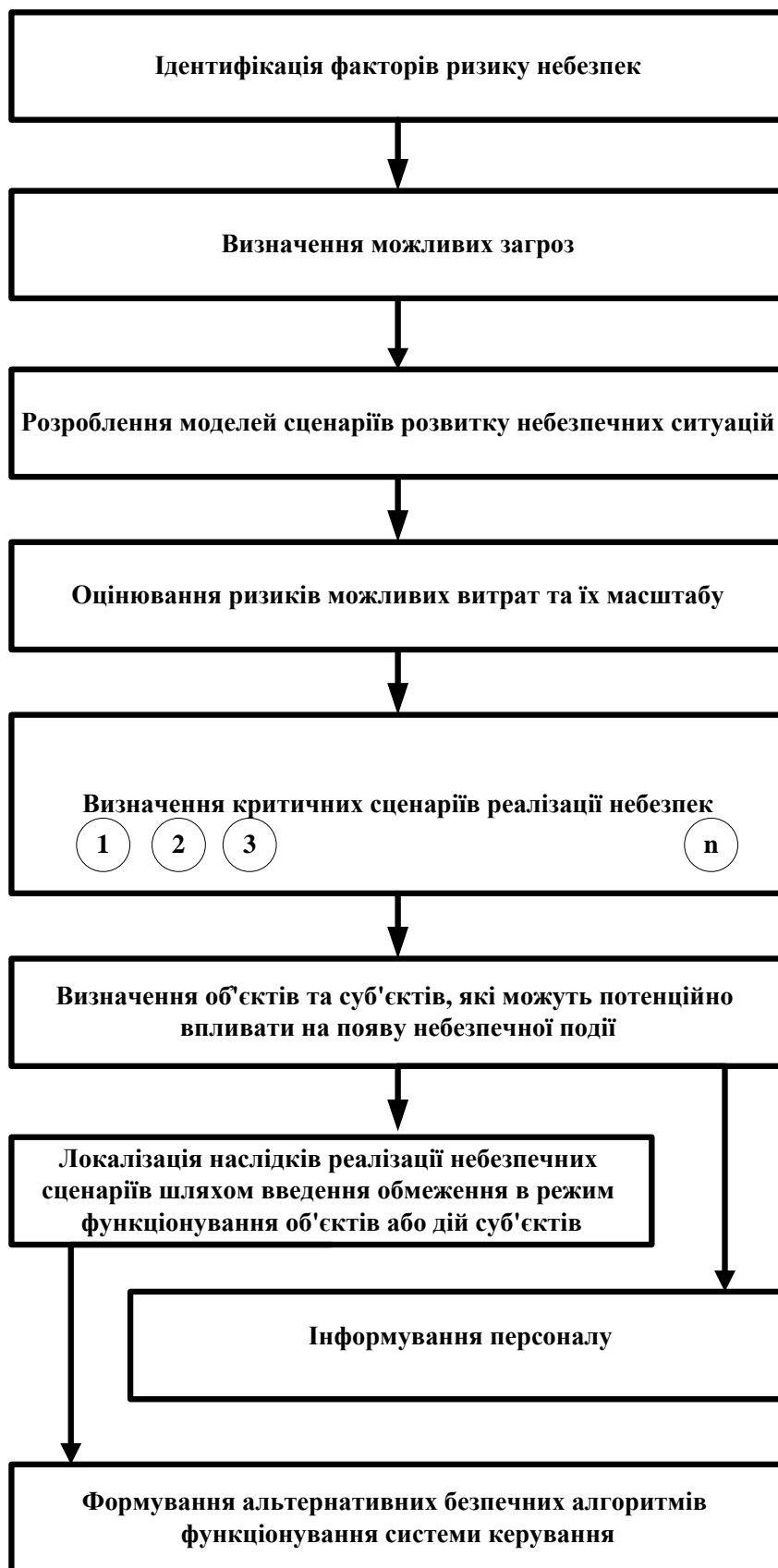


Рисунок 2.3 – Процедура безпечного функціонування системи мікропроцесорної централізації на основі концепції ризик – менеджменту.

Основними відмінностями методу що пропонується є те що:

- ідентифікуються зміни у параметрах та алгоритмах функціонування МПЦ, у той же час як відомі методи фіксують появу пошкодження технічних засобів чи помилки персоналу;
- визначаються можливі загрози для безпечного функціонування внаслідок дії дестабілізаційних факторів (факторів ризику небезпеки);
- розробляються декілька сценаріїв розвитку потенційної небезпеки;
- проводиться оцінка ризиків можливих втрат за розробленими сценаріями розвитку небезпечної ситуації;
- локалізуються можливі негативні наслідки реалізації всіх можливих сценаріїв небезпечних подій;
- формуються альтернативні варіанти більш безпечного алгоритму функціонування системи мікропроцесорної централізації.

Наступним кроком є розробка процедур формування кількісних оцінок показників функційної безпечності об'єктів керування та контролю (ОКК) та кількісних показників функційної безпечності технологічних операцій МПЦ. Ці процедури є взаємопов'язаними, тому розглянемо процедуру спільного їх використання у режимі нормального функціонування системи.

Для досягнення поставленої цілі виділимо вищезазначені процедури в умовні Блок 1 та Блок 2.

Використовуючи інформацію про стани об'єкту що досліджується $S_1 - S_5$, маємо можливість сформуванню кількісних оцінок показників функційної безпечності – Блок 1. Для цього використовується процедура що складається з:

- 1.1 Ідентифікації стану i -того об'єкту ($S_1 - S_5$).
- 1.2 Формування масивів похідних даних про стани об'єктів.
- 1.3 Визначення кількісних показників функційної безпечності об'єктів.
- 1.4 Формування масивів похідних даних про оцінки функційної безпечності об'єктів.

Для формування кількісних показників функційної безпечності - Блок 2 необхідно:

2.1 Визначення переліку ОКК та формування команд керування.

2.2 Визначення показників ймовірності успішного виконання команди керування та виникаючих при цьому ризиків небезпек.

2.3 Визначення можливості реалізації команди (технологічної операції).

При прийнятті позитивного рішення про можливість реалізації команди переходимо до п. 2.4.

2.4 Реалізація команди.

У випадку негативного рішення про дану можливість процедура продовжується наступним шляхом:

2.5 Розроблення альтернативних варіантів реалізації команди.

2.6 Оцінка кількісних показників ризиків небезпек у альтернативних варіантах.

2.7 Видача рекомендацій персоналу.

Для розроблення альтернативних варіантів реалізації команди використовується первинна інформація що є результатом виконання п.2.1.

Після поєднання процедур що реалізуються в блоках 1 та 2, як взаємопов'язаних, також враховано що результати роботи Блоку 1 є первинною (вхідною) інформацією для визначення показників ймовірності успішного виконання команди керування та виникаючих при цьому ризиків небезпек п.2.2.

Загальна структура подано на рисунку 2.4.

Виконання процедури що приведена на рисунку 2.4 можливе тільки для режиму нормального функціонування систем мікропроцесорної централізації. Але вона не може розглядатись як остаточна, бо в процесі експлуатації досить часто трапляються випадки часткової втрати функціональних можливостей системи при виникненні пошкоджень - порушень нормальної дії пристроїв ЗА. В цьому випадку доцільно використовувати більш складну але більш ефективну

процедуру, що подана на рисунку 2.5 та дозволяє локалізувати небезпеки шляхом блокування роботи критичних об'єктів. Для цього необхідно:

- визначити головні ризики;
- провести аналіз можливих сценаріїв розвитку небезпечних подій;
- визначити об'єкти та їх можливі стани, що можуть привести до реалізації найбільш небезпечних сценаріїв.

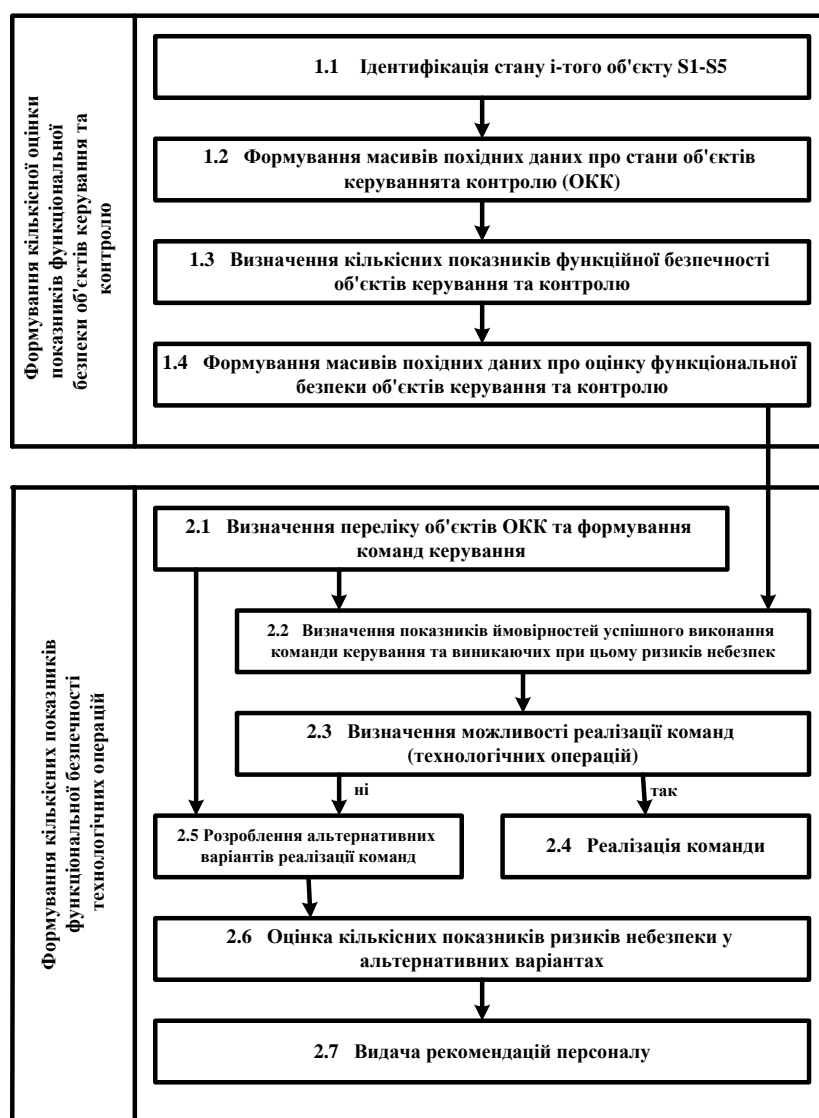


Рисунок 2.4. – Загальна процедура формування кількісних оцінок показників функційної безпечності ОКК та кількісних показників функційної безпечності технологічних операцій МПЦ у режимі нормального функціонування системи.

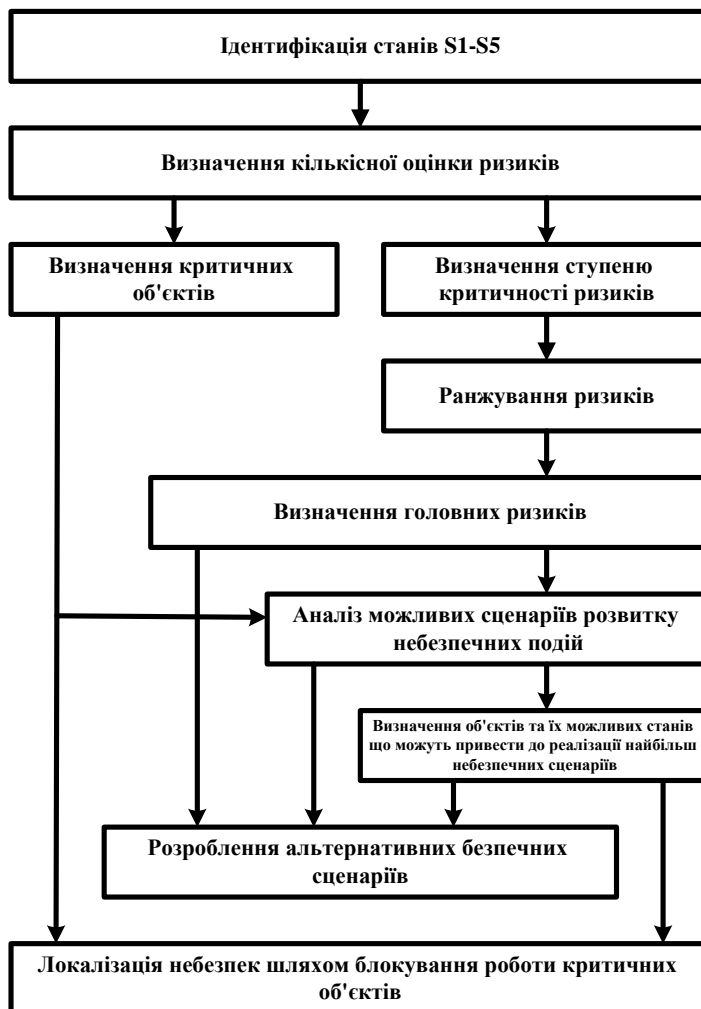


Рисунок 2.5 – Процедура локалізації небезпек

При цьому також необхідно враховувати, що для аналізу можливих сценаріїв розвитку небезпечних подій первинною інформацією є визначення критичних об'єктів та головних ризиків.

Застосування запропонованих процедур використовуючи інформацію про стани об'єкту що досліджується $S_1 - S_5$ та можливості формування кількісних оцінок показників функційної безпечності систем мікропроцесорної денталізації дозволяють локалізувати небезпеки шляхом блокування роботи критичних об'єктів за рахунок ідентифікації змін у параметрах та алгоритмах функціонування МПЦ, у той час як усі відомі методи тільки фіксують появу пошкодження технічних засобів чи помилки персоналу.

2.2 Метод оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних про пошкодження

Відповідно до ряду національних (ДСТУ 2389-94, ДСТУ 3021-95, ДСТУ 4178-2003), європейських (EN 1330-9, EN 13848-5, EN 13261:2009) та міжнародних (ISO/IEC 17020, ISO 9001-94, IEC 300-1/ISO 9000-4) стандартів [101–109], одним з пріоритетних завдань удосконалення технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації є оцінка допустимості та доцільності подальшої експлуатації обладнання при виявленні дефекту їх апаратних компонентів. Тобто методу оцінювання, який би дозволив визначати ймовірність відмови певного функціонального вузла систем мікропроцесорної централізації в умовах обмежених статистичних даних про її експлуатацію.

Для цього потрібно:

- встановити критерії, за якими здійснюється оцінювання технічного стану систем мікропроцесорної централізації;
- обґрунтувати вибір апарату математичної статистики, за яким має здійснитися ефективно та достовірно оброблення обмежених даних спостережень (експлуатаційних, лабораторних, тестових тощо);
- розробити математичні моделі, що закладені в основу методу оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації при виявленні дефекту апаратних компонентів в процесі їх експлуатації;
- сформулювати аналітичні та графічні закономірності.

2.2.1 Використання принципу еквівалентності однотипних елементів

Основою, що дозволяє використати обмежені статистичні дані про надійність мікропроцесорних пристроїв, у рамках дослідження закладається принцип ідентичності компонентів системи – програмованих логічних

контролерів (ПЛК), що об'єднані в єдиний клас еквівалентності за структурно-функціональною ознакою [51, 53].

Для його застосування вся множина L ПЛК певного рівня системи керування розділяється на n класів еквівалентності $L_i \subset L$, у межах кожного класу мають місце лише ідентичні ПЛК.

Відповідно до принципу еквівалентності, результати тестування, випробувань або інших досліджень, виконані по відношенню до окремо взятого елемента класу еквівалентності $l_j \in L_i$, розповсюджуються на всю множину L_i . Виходячи з теорії відношень, результати досліджень, виконані по відношенню до системи представників (підмножина, яка містить по одному елементові з кожного класу еквівалентності) усіх класів еквівалентності розповсюджуються на всю множину L [37]. Розповсюдження результатів досліджень над системою представників на всі відповідні класи еквівалентності безпосередньо впливає із транзитивності даного відношення. Проте відхилення параметрів окремого ПЛК $l_{\text{бр}} \in L_i$, яке може бути наслідком пошкодження, виробничого браку або дефекту, призводить до того, що група L_i перестає бути класом еквівалентності, а таким стає множина $L_i / (L_i^{\text{бр}} = \{l_{\text{бр}}\})$. Тоді результати досліджень над ПЛК $l_{\text{бр}}$ не можуть бути розповсюджені на всю множину однотипних елементів.

Таким чином, з точки зору теорії відношень, оцінювання технічного стану ПЛК може бути зведено до встановлення ймовірнісних показників прояву множини $L_i^{\text{бр}}$, що закладається в першооснову дослідження, яке проводиться в цій науковій праці [37, 51].

2.2.2 Ймовірнісний підхід із використанням теореми Ляпунова

При проведенні виробничого вихідного або іншого інспекційного контролю ПЛК завжди залишається множина неврахованих факторів, вплив яких призводить до випадкових помилок, внаслідок яких виникає множина $L_i^{\text{пом}} = \{l_{\text{пом}}\}$

ПЛК з невиявленими відхиленнями технічних параметрів, експлуатація яких призводить до їх відмов. Таким чином, оцінювання технічного стану ПЛК визначається ймовірністю належності довільно обраного з усієї їх сукупності елемента $l \in LL_i$ до класу еквівалентності $L_i^e = L_i / L_i^{\text{пом}}$: $P(E: l \in L_i^e)$ [37].

Зазначені випадкові помилки інтерпретуються кількістю виробів, інспекційний контроль яких (на виробництві, у ремонтно-технологічній дільниці тощо) не виявив їх недоліків (дефектів, браку тощо), та їх співвідношенням із загальною кількістю виробів відповідної групи. Якщо мати статистичні дані із зазначеної кількості по декількох об'єктах впровадження системи МПЦ, то ймовірність $P(E)$ може бути розрахована на основі статистичних методів. Випадкові помилки природно розглядати як результат впливу великої кількості різноманітних причин, кожна із яких вносить дуже малу помилку, і жодна з них не є домінуючою.

Відповідно до теореми Ляпунова є підстави вважати, що випадкові помилки розподілені за нормальним законом. Тоді нормально розподіленими будуть і величини $\omega = \omega_{jh} = (N_{\text{пом}}/N_{\text{заг}}) \times 100\%$ (де $N_{\text{пом}}$ та $N_{\text{заг}}$ – кількість відповідно виявлених під час інспекційного контролю бракованих (дефектних) виробів певного типу, та загальна їх кількість). Це дає підставу для застосування методів, пов'язаних з даним видом розподілу, по відношенню до отриманих у ході спостережень на попередніх об'єктах експлуатації ПЛК величин процента браку (дефекту, відмови) ω .

Подію E можна вважати одночасним настанням двох подій: неперевищення процента браку (дефективності) ω певного МПК з усієї сукупності $N_{\text{заг}}$ деякого значення ω_{max} ($\omega \leq \omega_{\text{max}}$) та вибору МПК із сукупності $N_{\text{заг}} - N_{\text{пом}}(\omega_{\text{max}})$ справних приладів. Друга подія є залежною від першої і настає у разі її виникнення. Тоді, згідно з правилом знаходження ймовірності настання залежних подій

$$P(E) = P(\omega \leq \omega_{\text{max}}) \times P_{\omega \leq \omega_{\text{max}}}(\Pi \in LL_{ij}^e). \quad (2.9)$$

Враховуючи, що з усіх $N_{\text{заг}}$ можливих результатів вибору ПЛК справному контролеру відповідають $N_{\text{заг}} - N_{\text{пом}}$ результатів, згідно з класичним визначенням ймовірності умовна ймовірність $P_{\omega \leq \omega_{\text{max}}} (\Pi \in LL_{ij}^e)$ визначається таким чином

$$P_{\omega \leq \omega_{\text{max}}} (\Pi \in LL_{ij}^e) = \frac{N_{\text{заг}} - N_{\text{пом}}^{\text{max}}}{N_{\text{заг}}} = 1 - \frac{N_{\text{пом}}^{\text{max}}}{N_{\text{заг}}} = 1 - \frac{\omega_{\text{max}}}{100\%}, \quad (2.10)$$

де $N_{\text{пом}}^{\text{max}}$ – абсолютна кількість бракованих (дефектних) ПЛК, яка відповідає величині ω_{max} .

Звідси формула (2.9) набуває такого вигляду

$$P(E) = P(\omega \leq \omega_{\text{max}}) \times \left(1 - \frac{\omega_{\text{max}}}{100\%}\right) = \frac{P(\omega \leq \omega_{\text{max}}) \times (100\% - \omega_{\text{max}})}{100\%}. \quad (2.11)$$

Таким чином, як впливає із виразу (2.11), ймовірність $P(E)$ є функцією параметра ω_{max} , до визначення якого зводиться задача оцінювання.

Виходячи з того, що процент браку (дефективності) не може бути від'ємним, над інтервалом $\omega \leq \omega_{\text{max}}$ можна зробити такі рівнозначні перетворення

$$\begin{aligned} (\omega \leq \omega_{\text{max}}) &\equiv (0 \leq \omega \leq \omega_{\text{max}}) \equiv (\omega_0 - \Delta\omega = 0 \leq \omega \leq \omega_0 + \Delta\omega = \omega_{\text{max}}) \equiv \\ &\equiv (-\Delta\omega \leq \omega - \omega_0 \leq +\Delta\omega). \end{aligned} \quad (2.12)$$

Значення величин ω_0 та $\Delta\omega$ знаходяться з такої системи рівнянь

$$\begin{cases} \omega_0 - \Delta\omega = 0; \\ \omega_0 + \Delta\omega = \omega_{\text{max}}; \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \omega_0 = \Delta\omega; \\ 2\Delta\omega = \omega_{\text{max}}; \end{cases} \rightarrow \omega_0 = \Delta\omega = \frac{\omega_{\text{max}}}{2}. \quad (2.13)$$

Згідно з формулою (2.12) має місце бути рівність

$$P(\omega \leq \omega_{\text{max}}) = P(-\Delta\omega \leq \omega - \omega_0 \leq +\Delta\omega),$$

яка дає підставу для визначення довірчих ймовірностей та довірчих інтервалів для розрахунку даної ймовірності та значення ω_{max} . З урахуванням результату (2.13),

значення $P(\omega \leq \omega_{\max})$ визначається через інтеграли ймовірності та Лапласа

$$P(\omega \leq \omega_{\max}) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{\omega_{\max}}{2}}^{\frac{\omega_{\max}}{2}} e^{-\frac{\left(\omega - \frac{\omega_{\max}}{2}\right)^2}{2\sigma^2}} d\left(\omega - \frac{\omega_{\max}}{2}\right) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^{\chi} e^{-\frac{\chi^2}{2}} d\chi = 2\Phi(\chi), \quad (2.14)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення (СКВ) випадкової величини ω ;

$$\chi = \frac{\omega - \frac{\omega_{\max}}{2}}{\sigma} = \frac{2\omega - \omega_{\max}}{2\sigma} \text{ – параметр, що інтерпретує інтеграл ймовірності в}$$

інтеграл Лапласа;

$\Phi(\chi)$ – функція (інтеграл) Лапласа.

При відомому значенні СКВ σ може бути визначена ймовірність $P(\omega \leq \omega_{\max})$ при заданому припустимому ω_{\max} або навпаки – значення ω_{\max} при заданій припустимій (довірчій) ймовірності $P(\omega \leq \omega_{\max})$ за довідковими даними, що визначають значення функції $\Phi(\chi)$ в будь-якій точці χ .

Проте у більшості випадків величина σ не відома, а її підрахунок неможливий через відсутність даних про конкретні значення функції розподілу випадкових величин ω . Для вирішення цієї проблеми, згідно з класичною теорією помилок, можна скористатися методом максимальної правдоподібності та формулою Бесея, відповідно до яких величина σ замінюється середнім значенням вибіркового стандарту s_{cp} , що становить її наближене значення

$$\sigma \rightarrow s_{cp} = \sqrt{\frac{1}{\rho(\rho-1)} \sum_{h=1}^{\rho} (\omega_{jh} - \omega_{cp})^2}, \quad \omega_{cp} = \frac{1}{\rho} \sum_{h=1}^{\rho} \omega_{jh}, \quad (2.15)$$

де ω_{cp} – середнє значення параметра ω_{jh} – його точкова оцінка;

ρ – кількість спостережень величини ω_{jh} (піддослідних об'єктів транспортної інфраструктури, де відбувається збір статистичних даних).

Результати (2.9) – (2.15) з певною модифікацією під їх використання в умовах обмежених статистичних даних, що є процесом дослідження, закладаються в основу розроблюваного методу оцінювання технічного стану

мікропроцесорної апаратури станційної централізації при виявленні дефекту апаратних компонентів в процесі їх експлуатації.

2.2.3 Метод оцінювання для окремо взятого класу еквівалентності

Як було зазначено вище, безпосереднє застосування формул (2.14) та (2.15) лімітоване такими факторами, як: обмеженість статистичних даних, а також ймовірна нерівноточність спостережень для кожного об'єкту, яка пов'язана хоч і близькими за характеристиками типами ПЛК, проте не цілком ідентичними, а також відмінностями в технології роботи, які могли призвести до різних проявів браку (дефекту).

Вирішення першої проблеми досягається використанням розподілу Стюдента, широко застосованому в статистиці малих вибірок (мікростатистиці). На основі формул розподілу Стюдента [37], та з урахуванням виразів (2.13) – (2.15) і прийнятих припущень (зокрема $\sigma \rightarrow s_{cp}$), можна записати таке проміжне значення ймовірності

$$\begin{aligned} P(\omega \leq \omega_{\max}) &= P\left(-t_p \leq u = \frac{\omega_{cp} - \frac{\omega_{\max}}{2}}{s_{cp}} \leq +t_p\right) = P\left(-t_p s_{cp} \leq \omega_{cp} - \frac{\omega_{\max}}{2} \leq +t_p s_{cp}\right) = \\ &= P\left(\omega_{cp} - t_p s_{cp} \leq \frac{\omega_{\max}}{2} \leq \omega_{cp} + t_p s_{cp}\right) = P\left(2\omega_{cp} - 2t_p s_{cp} \leq \omega_{\max} \leq 2\omega_{cp} + 2t_p s_{cp}\right) = \\ &= \int_{-t_p}^{+t_p} \left[\frac{\Gamma\left(\frac{\kappa+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi\kappa}\Gamma\left(\frac{\kappa}{2}\right)} \left(1 + \frac{u^2}{\kappa}\right) \right] du = 2 \int_0^{+t_p} \left[\frac{\Gamma\left(\frac{\kappa+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi\kappa}\Gamma\left(\frac{\kappa}{2}\right)} \left(1 + \frac{u^2}{\kappa}\right) \right] du = S(t_p, \kappa), \quad (2.16) \end{aligned}$$

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

($x = \text{Re}(z) > 0$);

$\kappa = \rho - 1$ – коефіцієнт Стюдента, що визначає кількість ступенів свободи однойменного розподілу.

Значення функції Стюдента $S(t_p, \kappa)$ визначаються при різних значеннях параметрів t_p і κ за довідковими таблицями [37]. Вона визначає ймовірність того, що відхилення середнього арифметичного значення процента браку (дефекту) ω_{cp} від його істинного значення ω не перевищує $\Delta_p = t_p s_{cp}$. При цьому, як випливає із виразу (2.16), ця функція також визначає ймовірність знаходження припустимого процента браку в деякому інтервалі $\omega_{max} \in [2\omega_{cp} - 2t_p s_{cp}; 2\omega_{cp} + 2t_p s_{cp}]$, окремі елементи якого, як показано нижче, можуть бути меншими за нуль. Враховуючи, що процент браку не може бути від'ємним, від'ємне значення параметра ω_{max} є неможливим, тобто $P(\omega_{max} < 0) = 0$. Отже, враховуючи можливу втрату покриття відрізка $[0; 2\omega_{cp} - 2t_p s_{cp}]$, що можливо лише при $2\omega_{cp} - 2t_p s_{cp} \geq 0$, за умови прийняття припустимого браку на рівні $\omega_{max} = 2\omega_{cp} + 2t_p s_{cp}$, можна вважати, що ймовірність $S(t_p, \kappa) \leq P(\omega < \omega_{max})$, звідки випливає

$$P(E') = P(E) - P(\Delta E) = P(\omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{max}) \times P_{\omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{max}}(\Pi \in LL_{ij}^e) \leq P(E), \quad (2.17)$$

де ΔE – подія, яка полягає в потраплянні процента браку МПК відповідного типу в інтервал $[0; \omega_{min}]$, несумісна з подією E' : $P(\Delta E) = P(\omega < \omega_{min})$;

$\omega_{min} = 2\omega_{cp} - 2t_p s_{cp}$ – умовне мінімальне розрахункове значення параметра ω .

Згідно з отриманою нерівністю можна скористатися замість ймовірності $P(E)$ ймовірністю $P(E')$, завідомо не вищою за неї. Тоді прийнятне значення $P(E')$ підсилює результат оцінювання. При цьому можлива втрата значень про ймовірність $P(\Delta E)$ є витрачанням на застосування мікростатистики. При цьому у випадку, коли $\omega_{min} < 0$, істинним є вираз $P(\Delta E) = P(\omega_{min} < 0) = 0$, звідки випливає: $P(E')_{\Delta E = \{\omega_{min} < 0\}} = P(E)$. Тобто достовірність оцінювання зростає, при цьому відповідні показники ймовірності покращуються.

Для вирішення другої проблеми, пов'язаної з нерівноточністю спостережень, можна скористатися методом зважування, запропонованого в праці [42]. Метод полягає в тому, що кожному спостереженню, приписується своя вага, яка виражається цілим числом. Найменш достовірні спостереження отримують і

найменшу вагу, а іншим приписується тим більша вага, чим вища їх достовірність. При цьому вага m_{jh} розглядається як розмноження спостереження, тобто вважається, що спостереження з вагою m_{jh} рівноцінно m_{jh} спостереженням з одиничною вагою, що відповідає зниженню середньої помилки в $\sqrt{m_{jh}}$ разів. У даному випадку відповідні вирази у формулі (2.17) для ω_{cp} та s_{cp} набувають такого вигляду:

$$\omega_{cp} = \frac{1}{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}} \sum_{h=1}^{\kappa+1} [m_{jh} (\omega_{jh} - a)] + a, \quad (2.18)$$

$$s_{cp} = \sqrt{\frac{1}{\kappa(\kappa+1)} \left\{ \sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh} (\omega_{jh} - a)^2 - \frac{1}{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}} \left[\sum_{h=1}^{\kappa+1} (\omega_{jh} - a) \right]^2 \right\}}, \quad (2.19)$$

де a – довільне число, близьке за значенням до ω_{cp} , визначеного згідно з (2.13).

Поєднуючи формули (2.11), (2.13) – (2.19), можна отримати такий вираз для знаходження ймовірності $P(E')$

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

$$\times \int_0^{+t_p} \frac{(t_p - \kappa) \Gamma\left(\frac{\kappa+1}{2}\right) \sqrt{\frac{1}{\kappa(\kappa+1)} \left\{ \sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh} (\omega_{jh} - a)^2 - \frac{1}{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}} \left[\sum_{h=1}^{\kappa+1} (\omega_{jh} - a) \right]^2 \right\}}}{\kappa \sqrt{\pi \kappa \Gamma\left(\frac{\kappa}{2}\right)}} dt_p. \quad (2.20)$$

Враховуючи, що параметри κ , m_{jh} , ω_{jh} та a не залежать від t_p , можна винести відповідну постійну частину за знак інтеграла у формулі (2.20). Обчисливши інтеграл

$$\int_0^{+t_p} (t_p - \kappa) dt_p = \int_0^{+t_p} t_p dt_p - \kappa \int_0^{+t_p} dt_p = \frac{t_p^2}{2} - \kappa t_p = t_p \left(\frac{t_p}{2} - \kappa \right), \text{ прийнявши при цьому}$$

$a = \frac{1}{\kappa + 1} \sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}$, вираз (2.20) для знаходження $P(E')$ записується таким чином:

$$P(E') = \frac{4\kappa^2 t_p \left(\frac{t_p}{2} - \kappa \right) \Gamma\left(\frac{\kappa+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi(\kappa+1) \Gamma\left(\frac{\kappa}{2}\right)}} \sqrt{\frac{\left(\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh} \right)^2 \sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh} \left(\omega_{jh} - \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}}{\kappa+1} \right)^2 - \left[\sum_{h=1}^{\kappa+1} \left(\omega_{jh} - \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}}{\kappa+1} \right) \right]^2}{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}}} \times} \\ \times \left(\frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh} \left(\omega_{jh} - \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}}{\kappa+1} \right)}{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}} + \sqrt{\frac{\left(\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh} \right)^2 \sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh} \left(\omega_{jh} - \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}}{\kappa+1} \right)^2 - \left[\sum_{h=1}^{\kappa+1} \left(\omega_{jh} - \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}}{\kappa+1} \right) \right]^2}{\kappa(\kappa+1) \sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}} + \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{jh}}{\kappa+1}} \right) \quad (2.21)$$

Безпосередній підрахунок $P(E')$ за отриманою формулою громіздкий та потребує попередніх визначень інтеграла Ейлера II роду. Тому більш доцільно опосередковане його визначення на основі таблиць значень функцій $S(t_p, \kappa)$, наведених у роботі [37], яке перемножується із значенням $P_{\omega_{\min} \leq \omega \leq \omega_{\max}} (\Pi \in LL_{ij}^c)$ за формулами (2.9), (2.11). Попередньо при цьому знаходяться параметри ω_{\max} , $\omega_{\text{ср}}$ та $s_{\text{ср}}$ за формулами (2.16), (2.18) та (2.19).

Визначення вагових коефіцієнтів m_{jh} може відбуватися за будь-яким припустимим методом, зокрема – методом експертних оцінок.

Дані про брак ПЛК, що виявлені при експлуатації систем мікропроцесорних централізацій та табульовані значення функції $S(t_p, \kappa)$, що визначені згідно [37] подано в таблиці.

Таблиця 2.2 – Дані про брак ПЛК що виявлені при експлуатації МПЦ та табульовані значення функції $S(t_p, k)$

№ <i>i</i> гру пи	Тип (група) ПЛК	Кількісні характеристики	№ та назва станції			
			1	2	3	4
			Пост Південний	Напівгірки	Транзитна	ЦОФ
1	ПЛК СВ	Загальна кількість	58	23	18	54
		Кількість браку	1	1	0	1
		% браку	1,72	4,35	0	1,86
2	ПЛК СТ	Загальна кількість	19	10	10	31
		Кількість браку	0	0	0	1
		% браку	0	0	0	3,23
3	ПЛК РД	Загальна кількість	98	50	42	130
		Кількість браку	2	1	1	3
		% браку	1,04	2,0	2,38	2,31
4	IN	Загальна кількість	2	2	2	6
		Кількість браку	0	0	0	0
		% браку	0	0	0	0
5	OUT	Загальна кількість	2	2	2	6
		Кількість браку	0	0	0	0
		% браку	0	0	0	0
t_p	Значення $S(t_p, k)$ при значеннях k					
	1	2	3	4	7	11
0,1	0,063	0,071	0,073	0,075	0,078	0,07966
0,2	0,126	0,140	0,146	0,149	0,155	0,15852
0,5	0,295	0,333	0,349	0,356	0,373	0,38292
1,0	0,500	0,577	0,609	0,626	0,661	0,68269
2,0	0,705	0,817	0,861	0,884	0,926	0,95450
3,0	0,795	0,905	0,942	0,960	0,988	0,99730
5,0	0,874	0,962	0,985	0,992	0,999	0,99999

Обраховане безпосередньо за формулою (2.21) або опосередковано за формулами (2.17) – (2.19) значення $P(E')$ попередньо визначає достовірність тестово-діагностичних досліджень (лабораторних або експлуатаційних випробувань, перевірки залежностей тощо) по відношенню до всієї відповідної множини L_j .

2.3 Структурний синтез математичних моделей мікропроцесорних централізацій

Ще однією з найважливіших проблем при впровадженні та подальшій експлуатації систем мікропроцесорної централізації є уніфікація методології розроблення й конфігурування їхнього прикладного програмного забезпечення, а також дослідження їх безпечності та надійності. Вирішення таких задач пов'язане із формалізацією логічних умов функціонування об'єктів керування та контролю зазначених засобів, яка відбувається шляхом моделювання технологічних процесів на залізничному транспорті за різними ознаками [113, 115–117]. Найбільш актуальною визначається зазначена проблема саме для станційних систем керування, де переважна більшість функцій реалізується на основі маршрутизованого характеру переміщень, відповідно до якого множина функціональних ознак кожного ОКК базується на виконанні сукупності станційних маршрутів, у яких відповідний ОКК задіяний (прямо або опосередковано) [36, 116, 118–120].

Тобто необхідно формалізувати представлення взаємозалежностей між ОКК при формуванні та реалізації станційних маршрутів шляхом їх моделювання на основі функціональної ознаки.

Всі ОКК системи ЕЦ відтворюються впорядкованими за схематичним планом елементами колійного розвитку станції [36, 121], а колійний розвиток $A_{кр}$ в свою чергу представляється поєднанням впорядкованих множин елементів різних груп [122]

$$A \rightarrow A_{кр} = A_{ст} \cup A_{св} \cup A_{діл} \cup A_{пер}, \quad (2.22)$$

де $A_{ст}$, $A_{св}$, $A_{діл}$, $A_{пер}$ – множини стрілок, світлофорів, колійних ділянок і станційних переїздів.

Кількість об'єктів топологічного розвитку $N(кр)$ визначається потужністю відповідних множин [55, 122]

$$N(\text{кр}) = [A] = [A_{\text{ст}}] + [A_{\text{св}}] + [A_{\text{діл}}] + [A_{\text{пер}}]. \quad (2.23)$$

У свою чергу кожна множина може бути розділена на підмножини об'єктів різних категорій (стрілок, світлофорів, ділянок та переїздів різних типів), множина ізольованих ділянок $A_{\text{діл}}$ може бути розділена на сукупність підмножин стрілочних, безстрілочних ділянок та приймально-відправних колій

$$A_{\text{діл}} = A_{\text{діл_ст}} \cup A_{\text{діл_бс}} \cup A_{\text{діл_по}}; A_{\text{діл_ст}} \cap A_{\text{діл_бс}} \cap A_{\text{діл_по}} = \emptyset. \quad (2.24)$$

Крім того, множина $A_{\text{діл}}$ може бути розділена на підмножини ділянок, вільність яких контролюється за різними способами – рейковими колами (РК) або системою підрахунку осей (СПО) рухомого складу (РС)

$$A_{\text{діл}} = A_{\text{діл_рк}} \cup A_{\text{діл_спо}}; A_{\text{діл_рк}} \cap A_{\text{діл_спо}} = \emptyset. \quad (2.25)$$

Для інших елементів топологічного розвитку станції у складі підсистеми обробки логічних залежностей (ПОЛЗ) ЕЦ можна виділити аналогічні визначені за формулами (2.24), (2.25) підмножини. Тоді колійний розвиток розбивається на n класів еквівалентності за властивостями, які визначають для них конкретні модифікації інформаційно-керуючих контролерів чи інших засобів ЕЦ [37]

$$A_{\text{кр}} = \bigcup_{i=1}^n A_i \cong \bigcup_{i=1}^n LL_i, \quad \bigcap_{i=1}^n A_i = \bigcap_{i=1}^n LL_i = \emptyset, \quad (2.26)$$

де: A_i – класи множин ОКК за різними функціональними ознаками;

LL_i – класи пристроїв керування відповідними ОКК.

Кожен об'єкт $a \in A$ топологічного розвитку визначається, в загальному випадку, такими властивостями, як: спрямованість; наявність декількох станів; логічна пов'язаність власного стану із станом інших об'єктів. Тоді колійний розвиток розбивається на n класів еквівалентності за властивостями, які визначають для них конкретні модифікації ПЛК чи інших засобів ЕЦ. А для

уточнення змістовного наповнення теоретико-множинних виразів відповідні кінцеві множини доповнюються відповідними їм множинами станів ОКК, що схематично зображено на рисунку 2.6.

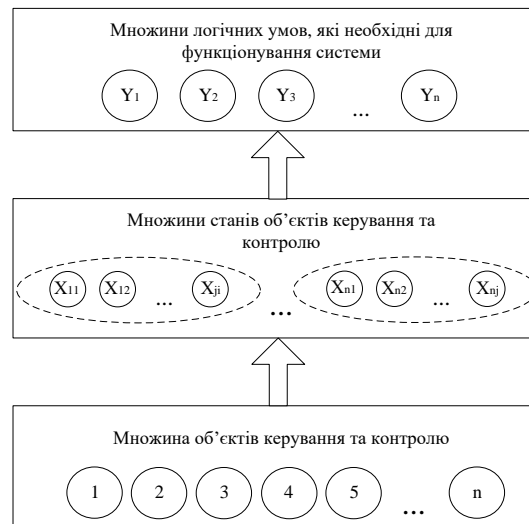


Рисунок.2.6 – Структурна схема взаємодії множин об'єктів, їх станів та логічних умов функціонування станційної системи керування (ЕЦ)

Кожний ОКК має деяку кількість станів $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{ij}, x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nj}$, які у сукупності утворюють множину станів, утвореною підмножинами кожного об'єкту, які безпосередньо пов'язані з відповідними ОКК.

Наступним рівнем є множини логічних умов, що перевіряються системою керування у процесі її функціонування. Слід зазначити, що кожна з логічних умов Y_1, Y_2, \dots, Y_k , може бути функцією деякої кількості станів ОКК. Прикладом такої логічної умови може бути логічна умова, пов'язана з наявністю (відсутністю) ворожих маршрутів, проведення маневрової роботи у горловині станції, тощо.

Для моделювання роботи станційної системи керування скористаємось функціональною ознакою. Розглянемо основні керуючі функції, що пов'язані з встановленням маршруту.

До них можна віднести [121]:

- задання маршруту;

- установка маршруту;
- замикання маршруту та відкриття сигналу;
- розмикання маршруту.

З урахуванням зазначеного, загальна функція системи (2.27) може бути представлена як

$$Y = F(Y_1, Y_2, Y_3), \quad (2.27)$$

де Y_1 – установка маршруту;

Y_2 – замикання маршруту;

Y_3 – відкриття сигналу;

Y – загальна функція.

Як згадувалося вище Y_1 – логічна умова, яка відповідає за установку маршруту. В установці маршруту беруть участь кнопкові реле (або функціональні модулі, що їх замінюють, при використанні МПЦ або РПЦ). Згідно з маршрутом, що встановлюється, наприклад, з II головної станційної колії у 4-й тупик (рисунок 2.7), встановлюється маршрут та перевіряється положення контактів реле на надійність. Сформована для відповідного маршруту логічна схема його замикання, побудована в середі UNITY PRO на мові релейно-контактних символів, наведена у вигляді креслення на рисунку 2.8 [123, 124].

Отже, у загальному вигляді, з урахуванням умови (2.27) та рисунків 2.7 і 2.8, функціональну ознаку (логічну умову) установки маршруту можна представити так

$$Y_1 = KN_1 \cap KN_2 \cap KN_3 \cap KN_4, \quad (2.28)$$

де:

$$KN_1 = (X_{121} \cap (X_{124} \cap (X_{122} \cap X_{133}))) \cup (X_{128} \cap (X_{126} \cup (X_{127} \cap X_{125})));$$

$$KN_2 = X_{129};$$

$$KN_3 \cap KN_4 = \overline{X_{130}} \cup (\overline{X_{139}} \cap (\overline{X_{140}})) \cap (\overline{X_{131}} \cup \overline{X_{141}} \cup \overline{X_{142}}) \cap (((\overline{X_{132}} \cap \overline{X_{133}} \cap \overline{X_{134}} \cap \overline{X_{135}} \cap \overline{X_{136}} \cap \overline{X_{137}}) \cup \overline{X_{143}}) \cap \overline{X_{138}}) \cup (((\overline{X_{144}} \cap \overline{X_{145}} \cap \overline{X_{146}}) \cup (\overline{X_{150}} \cap \overline{X_{151}}) \cup \overline{X_{152}}) \cap \overline{X_{147}} \cap \overline{X_{148}} \cap \overline{X_{149}}).$$

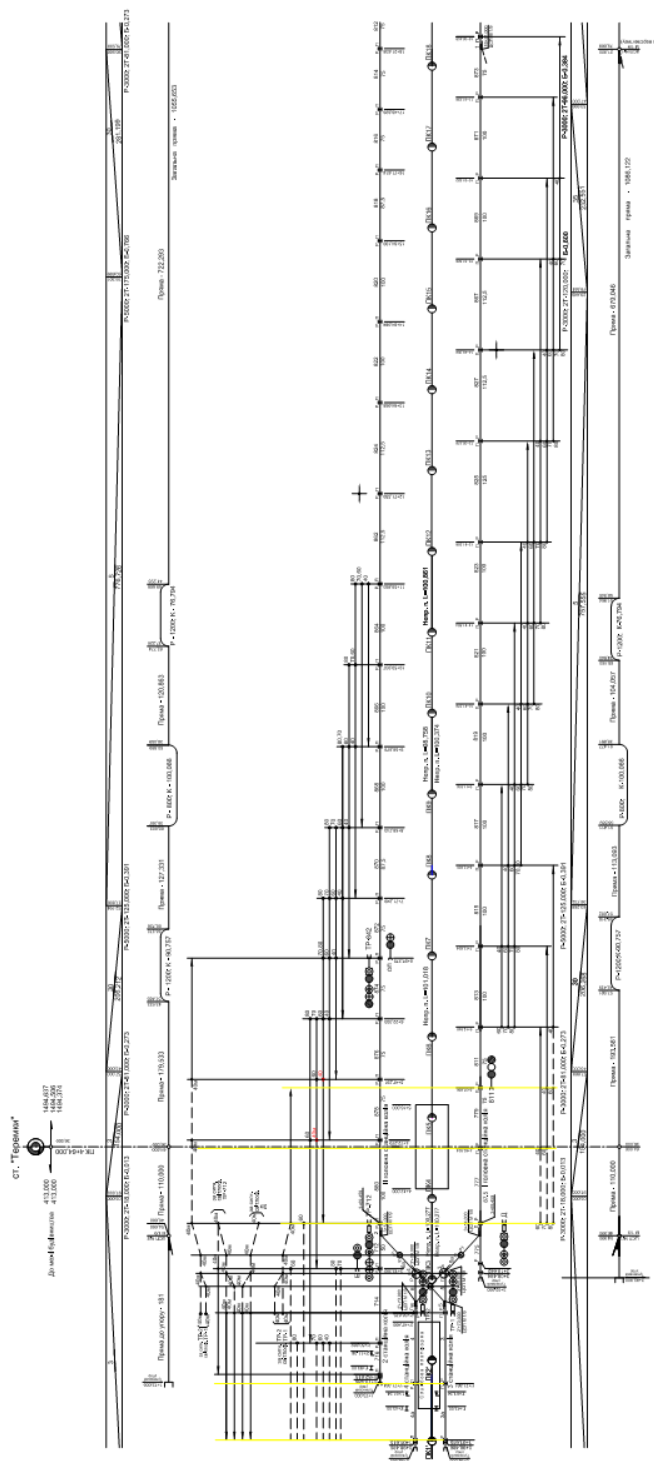


Рисунок 2.7 – Фрагмент схематичного плану залізничної станції, на прикладі якої розглядається маршрут

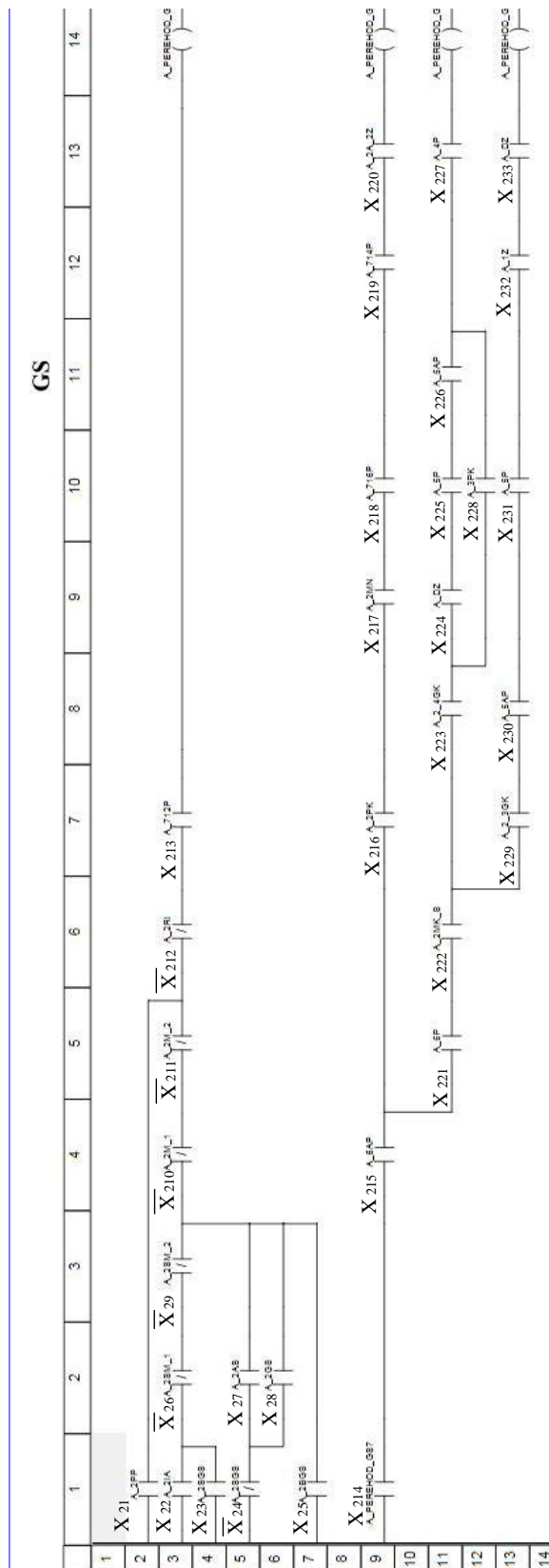


Рисунок 2.8 – Логічна схема замикання досліджуваного маршруту

Замикання маршруту, в якому беруть участь реле сигнальної групи описується логічною умовою Y_2 , яка може бути представлена як

$$Y_2 = GS_1 \cap GS_2 \cap GS_4 \cap GS_7 \cap GS_9 \cap GS_{10} \cap GS_{12} \cap GS_{13} \cap (GS_3 \cup GS_5) \cap (GS_6 \cup GS_8 \cup GS_{11}), \quad (2.29)$$

де:

$$GS_1 = (X_{21} \cup ((X_{25} \cup \overline{X_{24}} \cap (X_{27} \cup X_{28}))) \cup ((X_{22} \cup X_{23})) \cap \overline{X_{26}} \cap \overline{X_{29}} \cap \overline{X_{210}} \cap \overline{X_{211}})) \cap \overline{X_{212}} \cap X_{213} \cap X_{214} \cap X_{215} \cap ((X_{216} \cap X_{217} \cap X_{218} \cap X_{219} \cap X_{220} \cap X_{245} \cap X_{246} \cap X_{247}) \cup (X_{221} \cap X_{222} \cap (X_{223} \cap (X_{228} \cup (X_{224} \cap X_{225} \cap X_{226}))) \cap X_{227} \cap X_{234} \cap X_{234} \cap X_{236}) \cup (X_{229} \cap X_{230} \cap X_{231} \cap X_{232} \cap X_{233} \cap X_{241} \cap X_{242} \cap X_{243} \cap X_{244}) \cap X_{237} \cup \overline{X_{238}} \cap X_{240})),$$

$$GS_2 = \overline{X_{248}} \cap ((X_{258} \cup X_{259}) \cup (((X_{255} \cap X_{256} \cap \overline{X_{257}}) \cup X_{253}) \cap X_{254} \cap \overline{X_{252}} \cap X_{251} \cap \overline{X_{250}} \cap X_{249})),$$

$GS_3 - GS_{13}$ визначаються аналогічним чином.

Відкриття сигналу світлофора описується логічною умовою Y_3 яка може бути представлена як

$$Y_3 = SV_1 \cap SV_2 \cap SV_3, \quad (2.30)$$

де:

$$SV_1 = \overline{X_{31}} \cap \overline{X_{32}} \cup X_{33} \cap X_{34},$$

$$SV_2 = ((\overline{X_{312}} \cap \overline{X_{311}}) \cup ((\overline{X_{310}} \cap X_{39}) \cap X_{38} \cap X_{37}) \cap X_{36}) \cap \overline{X_{35}} \cap X_{34} \cap X_{33} \cap \overline{X_{32}} \cap \overline{X_{31}},$$

$$SV_3 = (\overline{X_{31}} \cap X_{313}) \cup X_{314}.$$

Отже, з урахуванням виразів (2.27) – (2.30) множина станів ОКК буде мати вигляд

$$Y = KN_1 \cap KN_2 \cap KN_3 \cap KN_4 \cap GS_1 \cap GS_2 \cap GS_4 \cap GS_7 \cap GS_9 \cap \\ GS_{10} \cap GS_{12} \cap GS_{13} \cap (GS_3 \cup GS_5) \cap (GS_6 \cup GS_8 \cup GS_{11}) \cap \\ SV_1 \cap SV_2 \cap SV_3.$$

Після перетворення отриманої формули в алгебраїчну форму за допомогою правил для булевих перетворень вираз (2.3.6) набуває такого вигляду

$$Y = KN_1 \cdot KN_2 \cdot KN_3 \cdot KN_4 \cdot GS_1 \cdot GS_2 \cdot GS_4 \cdot GS_7 \cdot GS_9 \cdot \\ GS_{10} \cdot GS_{12} \cdot GS_{13} \cdot (GS_3 + GS_5 - GS_3 \cdot GS_5) \cdot (1 - [1 - GS_6] \cdot \\ [1 - GS_8] \cdot [1 - GS_{11}]) \cdot SV_1 \cdot SV_2 \cdot SV_3. \quad (2.31)$$

Отриманий вираз (2.31) слід вважати формалізованим описом, який є моделлю логічних умов встановлення маршруту на станції.

Враховуючи що в синтезі використовується допоміжний змінний параметр для події x_{ij} , який характеризує стани ОКК критерієм установки маршруту є настання всіх подій x . Тоді для станції з m маршрутами, структурна функція реалізації i -тої команди керування для станції з m маршрутами матиме вигляд

$$\Psi(x) = \bigvee_{j=1}^m \left[\bigwedge_{j=1}^{n_j} x_{i,j} \right] \quad (2.32)$$

Або в алгебраїчній формі

$$Q(x) = 1 - \prod_{j=1}^m \left[1 - \prod_{i=1}^{n_j} x_{i,j} \right] \quad (2.33)$$

Ця функція i визначає ймовірність відмови в роботі системи мікропроцесорної централізації. Аналогічним чином можуть бути формалізовані логічні умови для будь-яких маршрутів, на підставі чого виникає можливість їх

програмної конфігурації, та різних видів досліджень, у тому числі на предмет виконання умов безпеки.

Для реалізації запропонованого в 2.1 методу забезпечення безпечного функціонування системи мікропроцесорної централізації з можливістю формування альтернативних сценаріїв та більш безпечного алгоритму їх функціонування за рахунок ідентифікації змін у параметрах та процедурах її роботи, оцінки ризиків можливих втрат за розробленими сценаріями розвитку небезпечної ситуації та локалізації можливих негативних наслідків їх реалізації, враховується оцінювання ризиків втрат при виникненні відмови на i -тому маршруті станції як:

$$R_i = Q_i(t) \times M_j \quad (2.34)$$

де M_j - масштаб втрат, тис. гривень.

Відповідно, для формування альтернативних сценаріїв та більш безпечної процедури функціонування системи мікропроцесорної централізації критеріями вибору маршруту є:

$$Q_i(t) < Q(t)_{\text{нормоване}}$$

$$M_j < M_{\text{критичне}}$$

Тоді для станційних маршрутів:

$$R_i = Q_i(t) \times M_j$$

.....

$$R_m = Q_m(t) \times M_j$$

Формалізація представлення взаємозалежностей між ОКК при формуванні та реалізації станційних маршрутів, шляхом їх моделювання на основі функціональної ознаки, дозволяє чітку алгоритмізація технологічних процесів й можливість дослідження функціональних властивостей систем мікропроцесорної

централізації та можливість визначення ймовірності відмови в її роботі на підставі чого виникає можливість їх програмної конфігурації, та різних видів досліджень, у тому числі на предмет виконання умов безпеки.

2.4 Достовірність оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації за умов існуючих обмежень у статистичних даних про пошкодження компонентів

Визначене за формулою (2.21) значення ймовірності відсутності дефектних ПЛК не є достатніми з позиції розповсюдження результатів на інші зразки, що входять до складу інших класів, а також його значення може бути недостатнім з точки зору можливості експлуатації системи за конкретних технічних умов.

Вирішення проблеми полягає в проведенні в рамках оцінювання декількох циклів досліджень над різними ПЛК певної групи за однаковою методикою. Для цього на кожний цикл обирається своя, еквівалентна з іншими, система представників.

Для можливості розповсюдження результатів досліджень достатньо, щоб хоча б один дослідний зразок ПЛК належав до класу еквівалентності (не був дефектним). Події, що полягають в одночасному виборі декількох представників є незалежними, а вибір хоча б одного небракованого (недефектного) ПЛК є поєднанням даних подій. Тоді, згідно з формулою знаходження ймовірності поєднання кінцевої кількості незалежних подій, загальна ймовірність $P(E_{\text{зар}})$ коректного розповсюдження результатів спостережень на всю партію становитиме [37]

$$P(E_{\text{зар}}) = P\left(\bigcup_{k=1}^n E_k\right) = \sum_{k=1}^n P(E_k) - \sum_{1 \leq i < j \leq n} P(E_i \cap E_j) + \sum_{1 \leq i < j < k \leq n} P(E_i \cap E_j \cap E_k) - \dots + (-1)^{n+1} P(E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap \dots \cap E_n), \quad (2.35)$$

де n – кількість циклів випробувань та відповідних систем представників ПЛК;

E_1, E_2, \dots, E_n – події, що полягають у виборі системи представників без браку.

Згідно з властивостями незалежних подій та попередніми викладками щодо довільності вибору ПЛК, події E_1, E_2, \dots, E_n рівноймовірні [37]

$$P(E_1) = P(E_2) = P(E_3) = \dots = P(E_n) = P(E), \quad (2.36)$$

звідки випливає такий вигляд формули (2.35) для даного випадку

$$P(E_{\text{зар}}) = C_n^1 P^1(E) - C_n^2 P^2(E) + C_n^3 P^3(E) - \dots + (-1)^{n+1} C_n^n P^n = \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} C_n^k P^k(E) \quad (2.37)$$

При виведенні формули (2.37) враховано правило знаходження ймовірності перетину незалежних подій: $P\left(\bigcap_{k=1}^n E_k\right) = \prod_{k=1}^n P(E_k)$ [37].

Результати дослідження наведені на рисунку 2.4.1

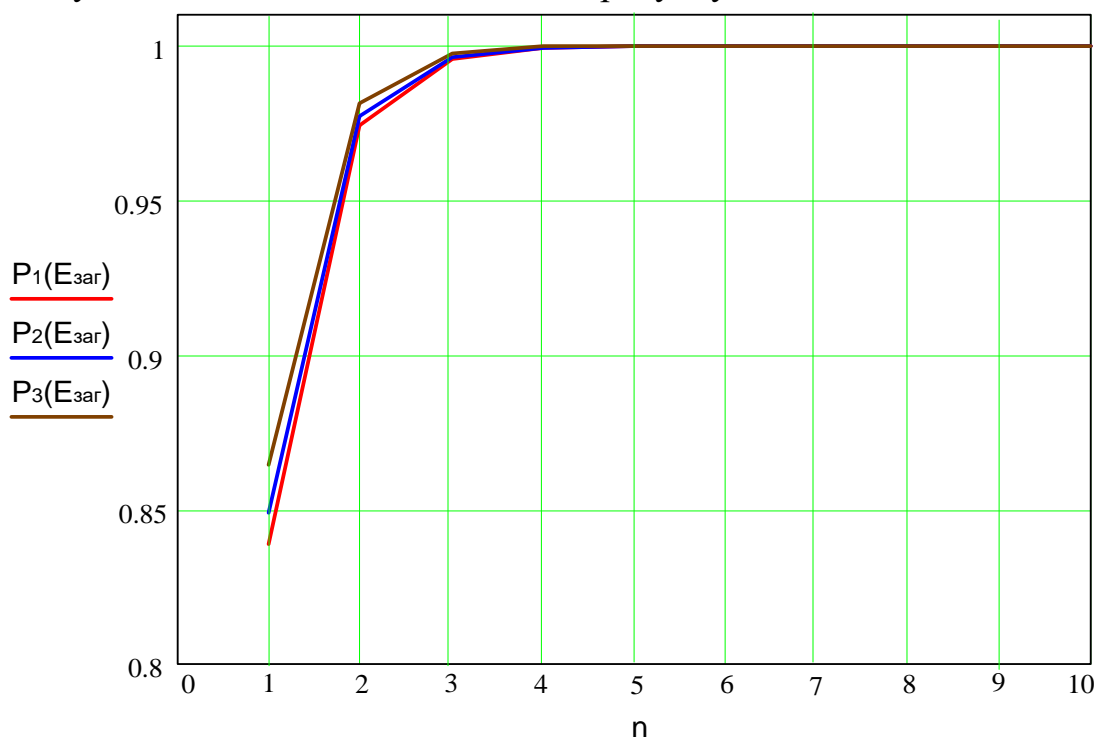


Рисунок 2.9 – Залежності $P(E_{\text{зар}})$ від кількості циклів випробувань систем мікропроцесорної централізації

Розрахунок достовірності оцінювання технічного стану мікропроцесорної апаратури станційної централізації подано в Додатку А.

Крім ймовірностей $P_j(E_{\text{заг}}) = P(E_{\text{заг}}^j)$, для окремих типів ПЛК важливе значення має також ймовірність $P(D_{\text{заг}})$, що полягає у відсутності браку в усій обраній системі представників.

Таким чином, узагальнюючи отримані дані для системи мікропроцесорної централізації на всі подібні системи, можна вважати, що ймовірність $P(D_{\text{заг}})$ у загальному випадку залежить від кожного значення $P_j(E_{\text{заг}})$, кількості груп m та кількості тестово-діагностичних циклів n і, згідно з формулою (2.37), визначається так [37]

$$P(D_{\text{заг}}) = \prod_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (-1)^{k+1} C_n^k P_j^k(E) = \sum_{k=1}^n \left[(-1)^{k+1} C_n^k \prod_{j=1}^m P_j^k(E) \right] = \sum_{k=1}^n \left[(-1)^{k+1} C_n^k P^k(D) \right], \quad (2.38)$$

де D – відсутність жодного бракованого ПЛК при одному циклі.

При порівнянні останніх виразів у формулах (2.37) та (2.38) спостерігається їх ізоморфізм відносно операцій над змінними $P(X)$, де $X = E \vee D$.

Тоді характер залежності $P(X_{\text{заг}}) = f[P(X), n]$, де $X_{\text{заг}} = E_{\text{заг}} \vee D_{\text{заг}}$ є однаковим для $X = E$ та $X = D$, тобто визначається лише результуючим $P(X)$ (рисунок 2.10).

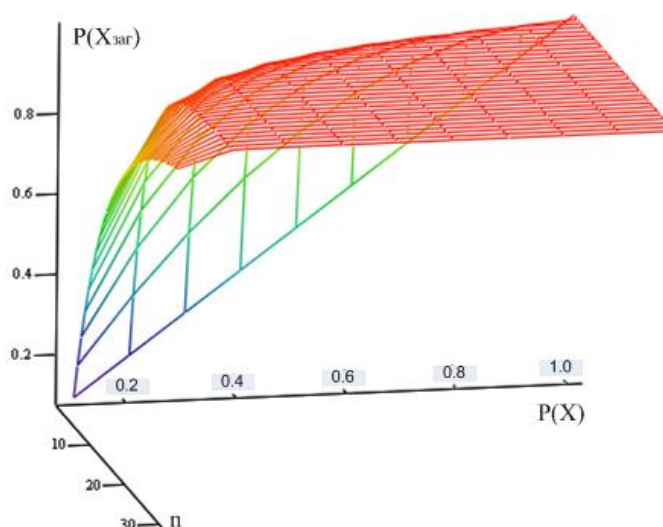


Рисунок 2.10 – Поверхневий графік залежності $P(X_{\text{заг}})$ від значень $P(X)$ та n

Наведений графік визначає значення параметрів $P(E_{\text{заг}})$, $P(D_{\text{заг}})$ незалежно від того, яким способом отримані відповідні вихідні параметри $P(E)$ або $P(D)$, а отже, є узагальненням процедури прогнозування на будь-які системи керування з довільним характером розподілу випадкових величин, аналогічним ω .

З графіка випливає, що навіть при незначних ймовірностях $P(X)$ при достатніх значеннях кількості тестово-діагностичних циклів, результуюча достовірність прогнозування $P(X_{\text{заг}})$ досягає доволі високих значень (більше 90%). З цього можна зробити висновок про універсальність запропонованого методу для всіх систем керування залізничної автоматики.

Виходячи з результатів дослідження, розроблений та запропонований метод оцінювання встановлює такі основні процедури його виконання:

- безпосереднє застосування формул (2.17) – (2.21) та таблиці 2.2 для оцінки статистичної ймовірності відмови (дефекту, браку) серед ПЛК, що входять до певного класу еквівалентності, в умовах обмежених статистичних даних про надійність їх експлуатації;

- використання комбінованого підходу, що передбачає певні експериментальні дослідження (лабораторні, експлуатаційні) над ПЛК певного класу еквівалентності, в умовах яких визначається та враховується ймовірність автентичності досліджуваної системи представників ПЛК справним та працездатним елементам за формулами (2.35) – (2.37) та пов'язаною з ними графічною залежністю, зображеною на рисунку 2.10.

Суттєвим недоліком першого варіанту є надмірне примусове заниження приведених статичних показників надійності ПЛК, що формуються в якості вихідних даних. Відповідно результат оцінювання можуть бути завідомо гіршим за фактичний стан техніки, і якщо розраховані показники надійності будуть меншими за ті, що регламентовані технічними умовами, то отримані результати не можуть стати обґрунтуванням експлуатаційної придатності відповідних ПЛК.

Зазначений недолік нівелюється другим варіантом, який, однак вимагає додаткових заходів та спеціального обладнання з метою проведення

експериментальних досліджень (тестово-діагностичних впливів). Таким чином, якщо перший варіант використання методу слід вважати виключно розрахунковим, то другий – розрахунково-експериментальним. При його застосування слід мати на увазі таке суттєве обмеження, як можливість безпосереднього застосування формул (2.35) – (2.37) лише в умовах стовідсотково позитивних результатів експериментальних досліджень (тобто, коли результати підтверджують заявлену надійність системи представників ПЛК). У протилежному випадку необхідно встановлювати додаткову поправку, науково-обґрунтоване визначення якої потребує окремого дослідження.

Не дивлячись на зазначені недоліки та обмеження, запропонований метод, на відміну від попередніх, дозволяє оперувати мінімальними статистичними даними з експлуатації МПЦ, що, при подальшому вдосконаленні, дозволить широко використовувати його в технології технічного обслуговування та ремонту перспективних систем мікропроцесорної централізації.

2.5 Висновки до розділу 2

1. Синтезовано модель визначення ризику появи 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 безпечного алгоритму роботи людино-машинної системи при нештатних ситуаціях.

2. Отримано рішення для визначення ймовірності $P_{i-1}(t)$ перебування системи мікропроцесорної централізації в станах S_i де $i=1,2,3,4,5$ в момент часу (t) та визначення ризику появи нештатного небезпечного стану процесу її використання, зокрема при виконанні технічного обслуговування, профілактичних, ремонтних та відновлювальних робіт з урахуванням можливості

виникнення небезпечного перебігу подій внаслідок помилок технічного персоналу при виконанні регламентного технічного обслуговування.

3. Розроблено метод безпечного функціонування систем мікропроцесорної централізації на основі концепції ризик – менеджменту що дозволяє:

- ідентифікувати зміни у параметрах та алгоритмах функціонування системи керування, у той час як відомі методи фіксують появу пошкодження техніки чи помилки персоналу;
- визначати можливі загрози для безпечного функціонування внаслідок дії дестабілізаційних факторів (факторів ризику безпеки);
- провести оцінку ризиків можливих втрат за розробленими сценаріями розвитку небезпечної ситуації;
- локалізувати можливі негативні наслідки реалізації всіх можливих сценаріїв небезпечних подій;
- сформувати альтернативні варіанти більш безпечного алгоритму функціонування системи мікропроцесорної централізації.

4. Розроблено процедуру формування кількісних оцінок показників функційної безпечності ОКК та кількісних показників функційної безпечності технологічних операцій систем мікропроцесорної централізації у режимі нормального функціонування системи використовуючи інформацію про стани досліджуємого об'єкту ($S_1 - S_5$).

5. Розроблено процедуру локалізації небезпек що дозволяє локалізувати безпеки шляхом блокування роботи критичних об'єктів з урахуванням визначення головних ризиків, аналізу можливих сценаріїв розвитку небезпечних подій та визначення об'єктів та їх можливих станів що можуть привести до реалізації найбільш небезпечних сценаріїв.

6. 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.

7. Формалізовано представлення взаємозалежностей між ОКК при формуванні та реалізації станційних маршрутів шляхом їх моделювання на основі функціональної ознаки та сформований базовий інструмент для автоматизованого конфігурування ППЗ систем МПЦ, а також для дослідження функціональних властивостей систем, у тому числі функційної безпечності та надійності.

8. Запропоновано 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

9. Розроблені та удосконалені методи та моделі надають можливість ідентифікації змін у параметрах та процедурах функціонування системи мікропроцесорної централізації в процесі експлуатації що виникають в апаратній частині та прикладному програмному забезпеченні.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛІ ІНТЕРАКТИВНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЛЮДИНИ – ОПЕРАТОРА І СИСТЕМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЇХ БЕЗПЕЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.

3.1 Модель інтерактивної взаємодії системи мікропроцесорної централізації з людиною оператором.

Важливим науково-прикладним завданням в рамках проведення дослідження систем мікропроцесорної централізації є визначення технічного стану їх програмно-апаратних пристроїв в процесі технічної експлуатації. Перш за все, це стосується технічного стану ПЛК, керуючих ЕОМ і інших компонентів відповідальних систем, пов'язаних з безпекою руху.

Технічно і технологічно це можливо реалізувати в поєднанні із засобами інтерактивної взаємодії оперативного і технічного персоналу з технічними засобами ЗА так як системи мікропроцесорної централізації є ергатичними системами, тобто між оператором і технічними засобами існує розподіл компетенції [113].

В таких умовах наукові методи геометричного і аналітичного моделювання технологічних процесів застосовуються для тестового відтворення окремих функцій технічних засобів, з урахуванням зовнішнього впливу, у тому числі персоналу. Реалізація відповідних технологій здійснюється на рівні програмних засобів систем керування, що реалізують методи і моделі взаємодії персоналу і технічних засобів залізничної автоматики.

Методи забезпечення безпеки систем мікропроцесорної централізації вельми різноманітні, але можуть бути зведені до двох основних принципів:

1. створення систем і пристроїв СЦБ, їх вузлів і елементів з введенням в них надмірності;

2. застосування засобів, які локалізують розвиток несприятливих процесів; захищають систему від невірних дій; попереджають про можливе настання екстремальних ситуацій; керують функціонуванням об'єкта в критичних випадках (припиняють розвиток відмови і переводять об'єкти управління в захисний стан).

До теперішнього часу більшість ергатичних систем управління в різних технологічних областях, в тому числі і в транспортній галузі засновані на функціонуванні, що не залежить від процесу технічного обслуговування. Такий підхід знижує ефективність їх експлуатації, обслуговування і безпеку системи.

Існуюча методологія оцінки безпечної експлуатації систем мікропроцесорної централізації базується на обробці статистичних даних про функціонування заданої системи або подібних їй систем за певний період. Однак, в реаліях, проблемою обробки цих даних є їх обмеженість.

Основні проблеми які виникають при визначенні технічного стану систем (рисунок 3.1) можна розділити на дві складові.

По перше це проблеми, пов'язані з проведенням тестових діагностичних процедур:

- складність забезпечення тестового покриття яка пов'язана з великою кількістю станів систем мікропроцесорної централізації, у тому числі непередбачених;

- можливість неприпустимих програмних вкладень - так званих «програмних петель» та інші;

- складність проведення оцінки в динаміці роботи об'єкта - 24 години на добу, 365 днів на рік;

- найбільш проблемне питання - питання інтерактивної взаємодії обслуговуючого персоналу з системою (людський фактор), а саме: відсутність вимірювача людського фактора, як персоналу оперативного управління (експлуатаційного), так і персоналу що проводить технічне обслуговування (технічного) більшою мірою.

По друге це проблеми, пов'язані зі збором та обробкою діагностичної інформації:

- проблема достовірності діагностичних даних;
- складність врахування впливу технічного персоналу;
- проблема дефіциту статистичних даних.



Рисунок 3.1 – Основні проблеми які виникають при визначенні технічного стану систем залізничної автоматики

Існуючі підходи до дослідження і формування інтерактивної взаємодії між оператором та обладнанням в своїй більшості використовують комплексну оцінку надійності, ефективності та безпеки функціонування систем мікропроцесорної централізації [41, 138]. Однак мало уваги приділяється складній взаємодії технічних засобів системи з експлуатаційним (технологічним) та технічним персоналом. В таких умовах функціонування систем недостатньо вивчається, а

підходи до нормування показників ефективності не враховують цілий ряд операційних і технічних факторів. Таким чином, подальше дослідження проведене з урахуванням інтерактивної взаємодії всіх типів персоналу і технології роботи МПЦ для впровадження більш надійних підходів до розробки ергатичних систем в транспортній галузі.

Згідно [125] можливості сучасних систем мікропроцесорної централізації не використовуються у повній мірі. Система, діючи за заздалегідь встановленими алгоритмами, виконує команди людини – оператора, й, у кращому випадку блокує явно небезпечні дії. Контроль дій персоналу, частіше за все, здійснюється шляхом архівування у журналі (запис інформації у чорну скриньку) яку потім можливо аналізувати. Тобто всі інтелектуальні функції технологічного процесу покладено на людину - оператора (рисунок 3.2.а).

Система не знаходиться у діалоговому режимі з людиною -оператором та не оцінює його компетентність і правильність алгоритму дій у відповідальних ситуаціях. Особливої ваги цей аспект набуває при безпосередньому втручанні людини у технологічний процес роботи МПЦ, як це має місце при технічному обслуговуванні, виключенні пристроїв СЦБ із залежності або виникненні нештатних ситуацій завдяки діям сторонніх осіб.

Якщо надати системі мікропроцесорної централізації можливість здійснювати аналіз дій людини – оператора і на підставі цього корегувати власну процедуру функціонування, ми матимемо ознаки інтерактивної і частково інтелектуальної технології взаємодії (рисунок 3.2.б). Внаслідок появи таких можливостей, функції аналізу ситуації і можливості формування відповідної адаптивної реакції матимуть не тільки людина – оператор, а й власне система керування, що взаємодіє з ним.

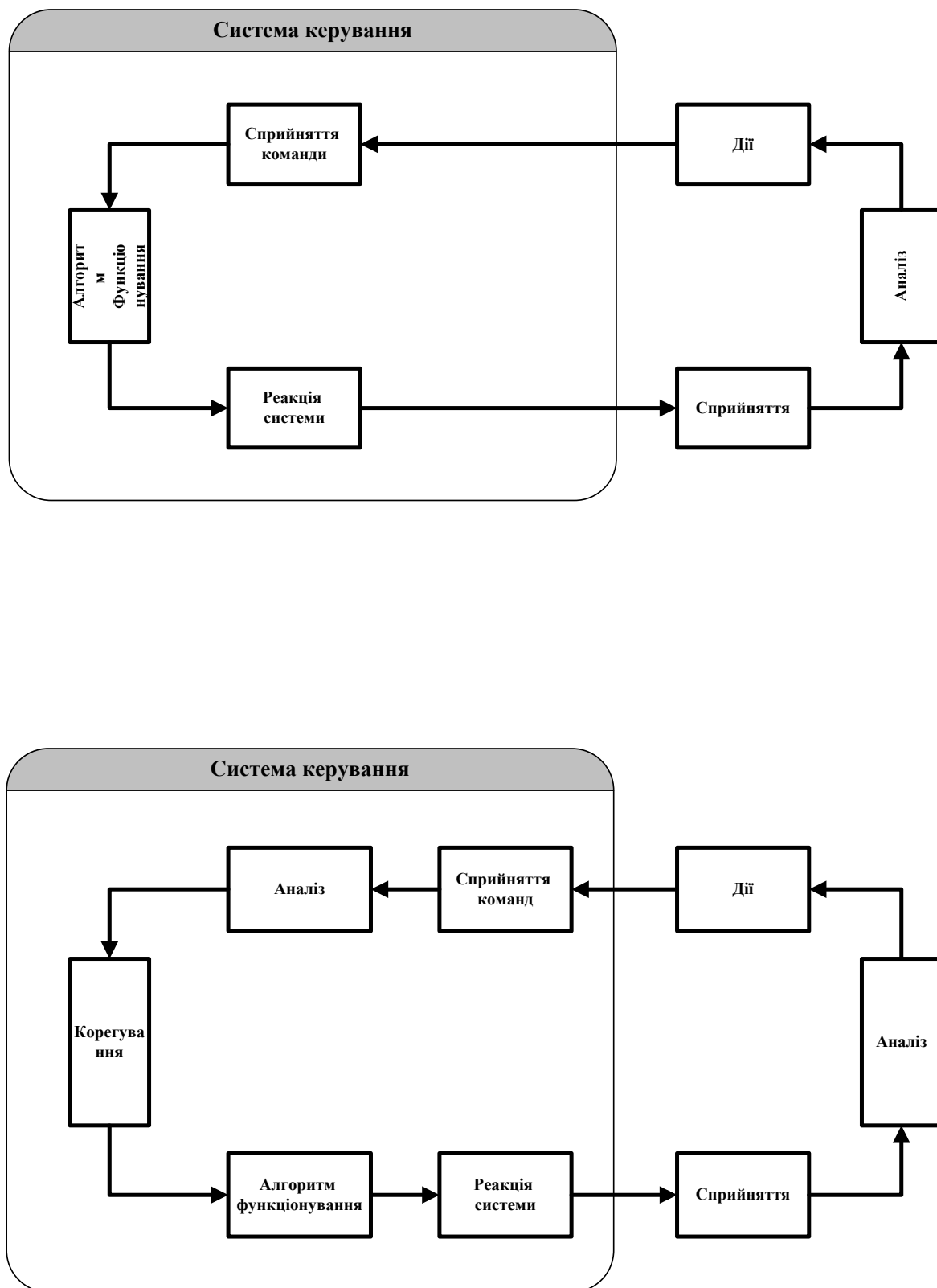


Рисунок 3.2. – Структурні схеми процедур взаємодії систем мікропроцесорної централізації з людиною – оператором а) – існуюча; б) – система керування з інтелектуальними властивостями

Статистичні дані АТ «Укрзалізниця» [1, 2, 3] свідчать про занедбаність залізничної інфраструктури на протязі останніх років через відсутність відповідного фінансування, а також наявність численних порушень у правилах безпеки залізничного руху та невиконання працівниками посадових інструкцій. Розглянемо цей процес більш докладно.

Системи мікропроцесорної централізації забезпечують і підтримують основні режими функціонування:

- приготування поїзних та маневрових маршрутів;
- переведення стрілок індивідуальне і маршрутне;
- відкриття та закриття світлофорів;
- відміну встановленого та/або невикористаного маршруту;
- штучне розмикання секцій маршрутів;
- управління закриттям переїздів;
- включення/виключення місцевого управління окремими об'єктами.

Реалізації всіх цих режимів функціонування виконується з обов'язковою перевіркою умов безпеки руху поїздів. Тому ми фактично в режимі «on-line» маємо інформацію про два стани об'єктів керування системи – справний чи несправний. Ця інформація про стани цих об'єктів знаходиться в архіві на АРМ чергового по станції (АРМ ДСП) та відображається у відповідних журналах.

В ході експлуатації систем мікропроцесорної централізації поїздів досить часто виникає необхідність виключення пристроїв із залежностей, так зване санкціоноване втручання. Цей процес вимагає особливої уваги та участі найбільш кваліфікованого технічного персоналу, що має необхідний рівень компетенції підтверджений необхідними документами. У випадку санкціонованого втручання в дії пристроїв ми також маємо інформацію про стан об'єктів керування – всі пристрої включені в залежність або якісь об'єкти виключені із залежності згідно регламентів, з оформленням відповідних записів у журналах.

Також в процесі експлуатації ми останнім часом все більш часто стикаємось з проблемою несанкціонованого втручання в діяльність залізничного

транспорту, актами вандалізму, що тягне за собою нерегламентні виключення пристроїв із залежності до відновлення. Ці втручання також реєструються у відповідних журналах та на АРМах ДСП та АРМ ШН.

Таким чином ми маємо можливість змодельовати механізм організації роботи з підтримання в справному стані системи мікропроцесорної централізації з участю експлуатаційного штату господарств перевезень, сигналізації та зв'язку та частково колії і електропостачання. Але для спрощення моделювання дві останні складові не враховуються.

Впорядковану сукупність елементів першої підсистеми можливо представити у вигляді ланцюга трьох подій що пов'язані між собою причино – наслідковими зв'язками (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Підсистема організації роботи з підтримання в справному стані ІКС рухом поїздів

Технічний персонал, що задіяний в процесі технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації, забезпечує належний стан показників ефективності через їх обслуговування, що включає в себе набір ремонтно-відновлювальних робіт, нормативних документів які регламентують ці роботи і організаційний компонент. Керуючись нормативними документами і візуальною інформацією про стан пристроїв, виконується необхідний перелік робіт та оформлюються їх результати у відповідних журналах. Фактичне виконання деяких робіт автоматично архівуються в АРМ ДСП та АРМ електромеханіка (АРМ ШН).

При цьому треба враховувати що більшість робіт вимагають взаємодії технічних спеціалістів різних господарств – перевезення, сигналізації та зв'язку, колії, електропостачання та потребують інструментальних вимірювань з фіксацією результатів у відповідних журналах.

За статистикою, переважна більшість небезпечних ситуацій та порушень безпеки виникає саме внаслідок хибних дій технічного персоналу. Найбільш поширеними причинами таких подій є:

- порушення регламенту виконання технологічних операцій;
- низький рівень технологічної дисципліни;
- недостатня кваліфікація людини – оператора
- низька якість роботи,
- порушення граничного терміну їх виконання,
- використання ненормативних матеріалів та устаткування, та інші.

Людина та система мікропроцесорної централізації в цій ситуації працюють паралельно і мало взаємодіють. Система безпосередньо не контролює процес технічного обслуговування.

Таким чином ми можемо виділити другу підсистему та представити її у вигляді ланцюга трьох подій що пов'язані між собою причино – наслідковими зв'язками між необхідністю виконання робіт з технічного обслуговування, фактичним їх виконанням та підтвердженням якості виконання (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Підсистема організації роботи з технічного обслуговування.

На ці взаємопов'язані дії суттєвий вплив має все той же людський фактор за рахунок можливості невідповідності необхідних дій і фактично виконаних та встановлення взаємозв'язку між діями по ТО і справністю або несправністю системи мікропроцесорної централізації в цілому та її елементів. Поєднавши обидві підсистеми можливо змоделювати процедуру прийняття керуючих рішень в умовах впливу дестабілізаційних факторів (рисунок 3.5).

В такому випадку після інформування технологічного (оперативного) персоналу система контролює факт сприйняття повідомлення та його подальші дії. Якщо виявлено невиконання технічним персоналом необхідних дій, система переходить у режим очікування, попереджаючи про це людину - оператора. В іншому випадку, якщо дії або бездіяльність людини – оператора будуть

загрожувати безпеці функціонування, то виконання окремих функцій чи робота окремих компонентів системи може бути обмежена автоматично.

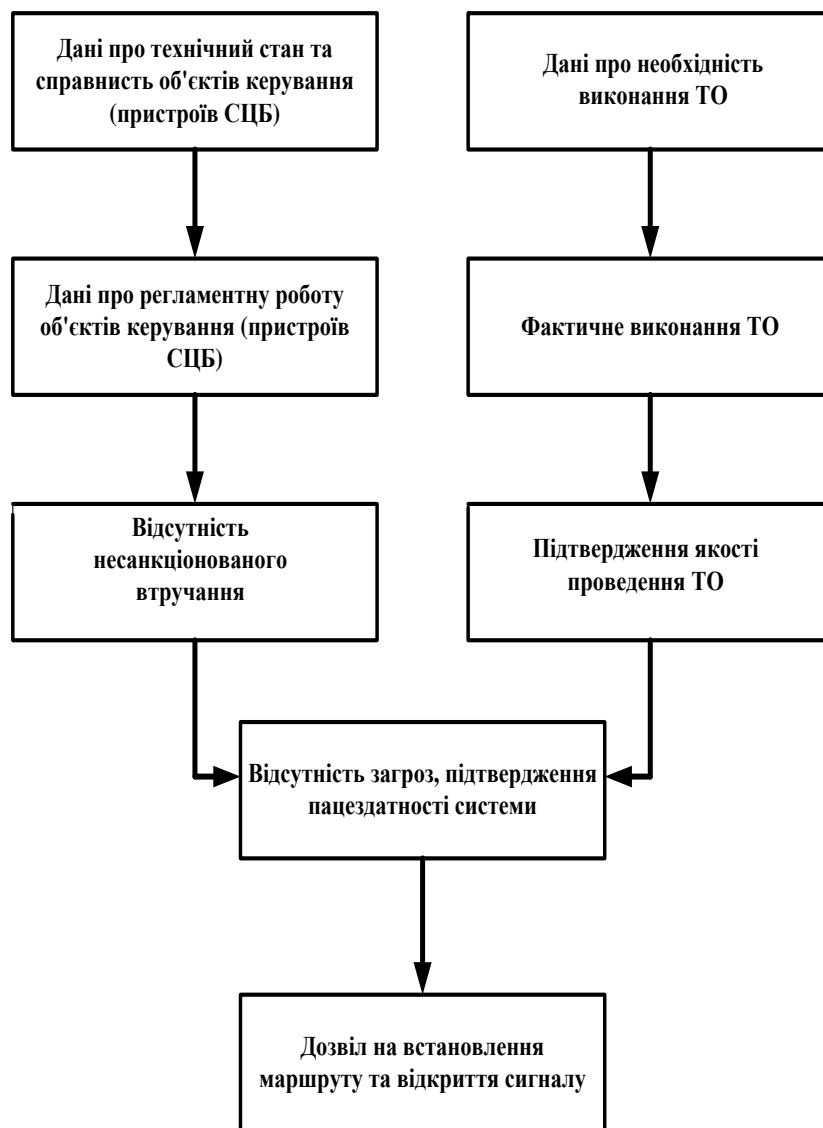


Рисунок 3.5 – Процедура прийняття керуючих рішень в умовах впливу дестабілізаційних факторів.

Реалізація такої інтерактивної інтелектуальної взаємодії на прикладі станційної системи мікропроцесорної централізації подано на рисунку 3.6.

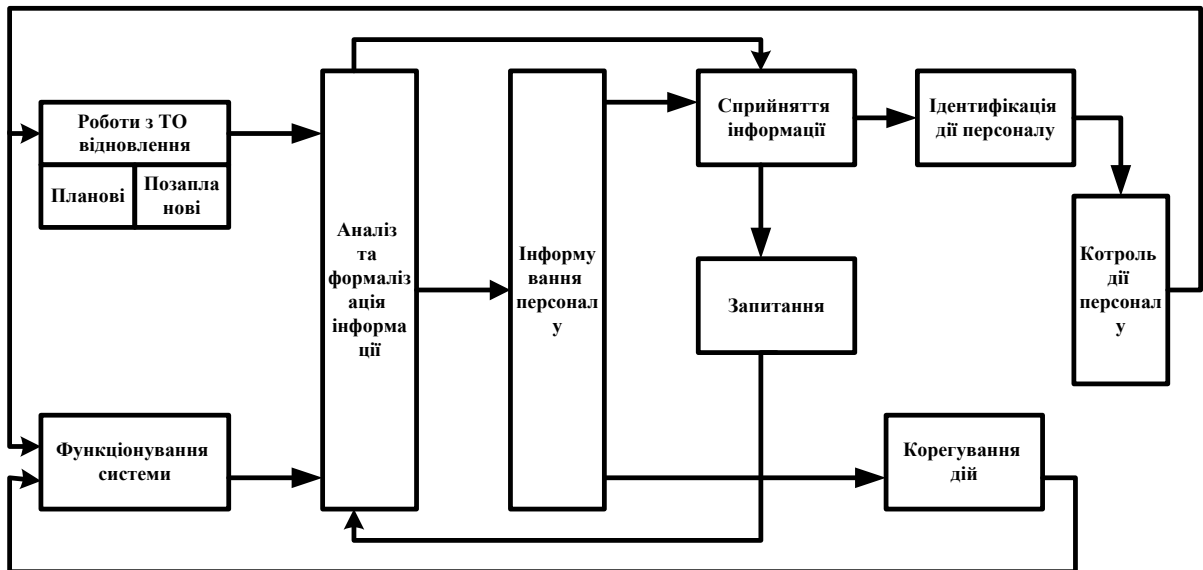


Рисунок 3.6 – Процедура інтелектуальної взаємодії системи мікропроцесорної централізації з людиною – оператором

Основною відмінністю запропонованої процедури від традиційних МПЦ є можливість аналізу та контролю фактичних дій персоналу при проведенні планових та позапланових робіт з технічного обслуговування. Тобто система набуває можливості коригувати свою роботу у випадках неякісного обслуговування або непідтвердження виконання регламентних дій, чого позбавлені існуючі системи мікропроцесорної централізації.

3.2. Модель інтерактивної взаємодії системи мікропроцесорної централізації з технічним персоналом

Сучасні системи мікропроцесорної централізації мають значно розширені функційні можливості в частині взаємодії з персоналом, але вони не використовуються в повному обсягу. Алгоритми взаємодії з персоналом сучасних систем залізничної автоматики з програмованою елементною базою мало чим відрізняються від релейних систем.

Існуюча система забезпечення безпечності системи мікропроцесорної централізації включає в себе набір ремонтно-відновлювальних робіт, нормативних документів і організаційного компонента (рисунок 3.7) [49].

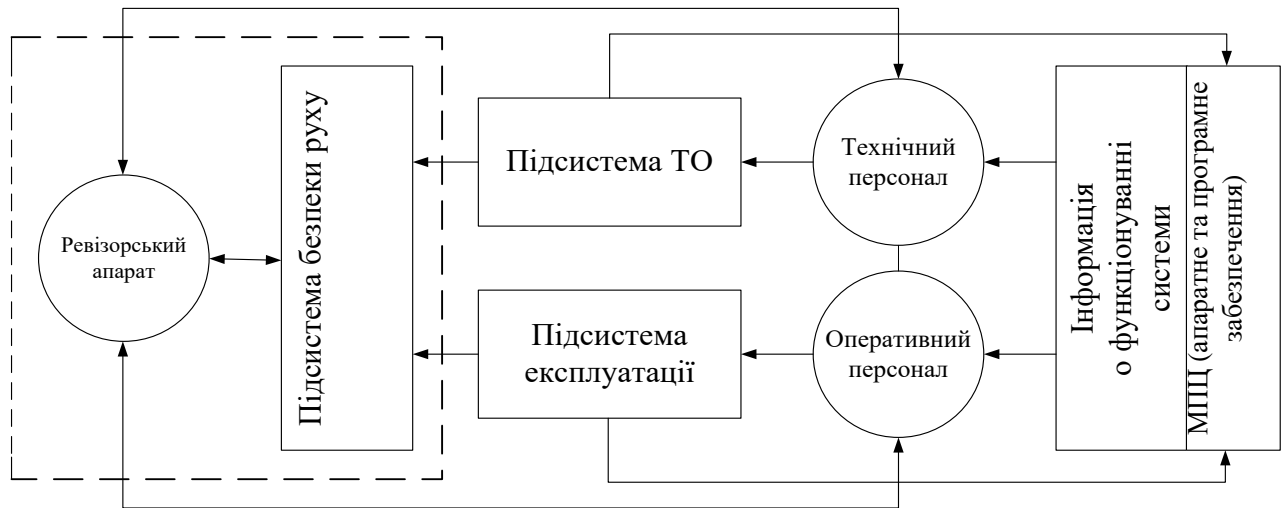


Рисунок 3.7 – Існуюча блок-схема забезпечення безпечності МПЦ

Система мікропроцесорної централізації (її програмне і апаратне забезпечення) в процесі експлуатації інформує про функціонування системи:

- оперативний (експлуатаційний) персонал за допомогою АРМ ДСП;
- технічний персонал за допомогою АРМ ШН.

Ця інформація автоматично транслюється в Підсистему експлуатації та Підсистему технічного обслуговування і поточного ремонту (ТО), як на рівні прикладного програмного забезпечення (ППЗ), так і на рівні технічного обслуговування.

Обидві ці підсистеми є джерелом даних для підсистеми безпеки руху (БР), тобто технічна справність програмних і апаратних засобів систем та вірні дії експлуатаційного персоналу забезпечують нормальну роботу підсистеми БР. Ревізорський апарат отримує інформацію як від самої системи мікропроцесорної централізації, так і від підсистем безпеки руху: випадки катастроф, аварій, інцидентів у випадках неузгодженості роботи підсистеми ТО і підсистеми експлуатації.

Суттєвим недоліком такого підходу є відсутність об'єктивного контролю надійності і безпечності як оперативного так і технічного персоналу. Іншими словами, причинами, що перешкоджають підвищенню безпеки технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації є відсутність процедур, які забезпечують інтелектуальну інтерактивну взаємодію системи з технічним та експлуатаційним персоналом.

До них відносяться:

1. автоматичне інформування персоналу про параметри функціонування системи МПЦ, операції з технічного обслуговування та нештатні події викликані впливами дестабілізаційних факторів;
2. контроль сприйняття персоналом інформації, що надходить від системи МПЦ та його реакції на інформаційні запити;
3. контроль дій персоналу (ідентифікація особи, місця проведення робіт, характеру робіт, часу їх проведення);
4. оцінювання адекватності дій персоналу:
 - визначення затримок при проведенні регламентних робіт;
 - ідентифікація помилок при виконанні профілактичних або відновлювальних робіт.
5. оцінювання ризиків небезпек та корегування ресурсу елементів системи при порушенні термінів виконання регламентних робіт.

У зв'язку з цим, пропонується змінити систему взаємодії людини - оператора із системою мікропроцесорної централізації, засновану на інтерактивній взаємодії апаратно - програмних засобів, як з оперативним, так і з технічним персоналом.

На відміну від існуючого методу, система матиме вбудовані функції для оперативного моніторингу безпеки дій персоналу, моніторингу роботи та технічного обслуговування. У разі виникнення небезпечних ситуацій система блокує розвиток цих подій за допомогою інтелектуальних підсистем: діагностики персоналу, ідентифікації і локалізації небезпеки (рисунок 3.8).

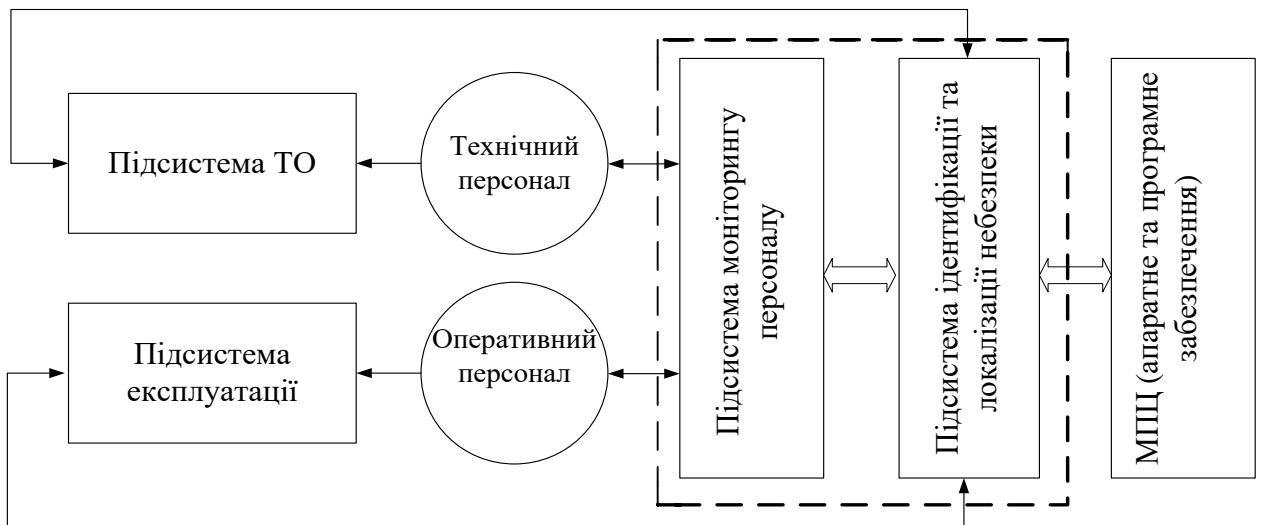


Рисунок 3.8 – Блок-схема забезпечення безпеки системи МПЦ на основі діагностування персоналу

Для забезпечення цих властивостей додатково передбачається реалізація наведених нижче процедур:

1. Автоматичне інформування технічного і експлуатаційного персоналу про параметри функціонування системи;
2. Автоматичний контроль сприйняття персоналом інформаційно – керуючих повідомлень, та фіксація його реакції на них;
3. Контроль дій персоналу, зокрема для технічного штату, що займається технічним обслуговуванням передбачається:
 - автоматичне ідентифікування особи;
 - визначення локації особи під час виконання робіт з технічного обслуговування;
 - визначення часу проведення робіт;
 - визначення характеру робіт.
4. Оцінювання адекватності:
 - реагування персоналу на поточні завдання;
 - фіксація затримок у процесі виконання планових робіт;
 - фіксація помилок.

5. Оцінювання ризиків небезпек при порушеннях процесів використання засобів залізничної автоматики та корегування ресурсу елементів системи з простроченим терміном виконання планових робіт з технічного обслуговування.

Система мікропроцесорної централізації в режимі онлайн надсилає персоналу повідомлення про режими реалізації своїх функцій. Зокрема для експлуатаційного штату надається інформація про виникаючі нештатні ситуації, попередження, зміна у роботі і т.п.

Технічний персонал інформується про:

- параметри функціонування системи (значення величин контрольних сигналів струму, напруги, інтенсивності роботи, тощо);
- регламентні роботи з технічного обслуговування пристроїв залізничної автоматики (терміни виконання та технології проведення робіт);
- виникаючі нештатні ситуації.

Надалі здійснюється контроль виконання робіт персоналом, а саме ідентифікуються: особа, що здійснює роботу; час початку та закінчення робіт; фактичне знаходження персоналу саме у місці, де необхідно виконувати роботу; характер роботи, успішність виконання та дотримання вимог безпеки в процесі виконання. Без цих процедур виконання відповідальних робіт, що пов'язані з безпекою руху є неможливим.

В процесі виконання роботи оцінюється адекватність реакції персоналу за часом (запізнення або відтермінування), локацією, характером роботи та результатом.

Реалізація процедур контролю персоналу за рахунок організації інтерактивної взаємодії системи мікропроцесорної централізації з технічним та експлуатаційним персоналом наведена у вигляді блок-схеми інтелектуальної інтерактивної взаємодії системи керування з персоналом (рисунок 3.9).

Для забезпечення цих властивостей додатково передбачається реалізація наступних процедур: реалізація функцій керування та контролю; інформування персоналу про параметри функціонування, перебої ТО та нештатні події;

сприяння інформації персоналом; формування його реакції; контроль виконання робіт; оцінка адекватності реакції персоналу; оцінка ризиків небезпек та корегування ресурсу; формування превентивних дій.

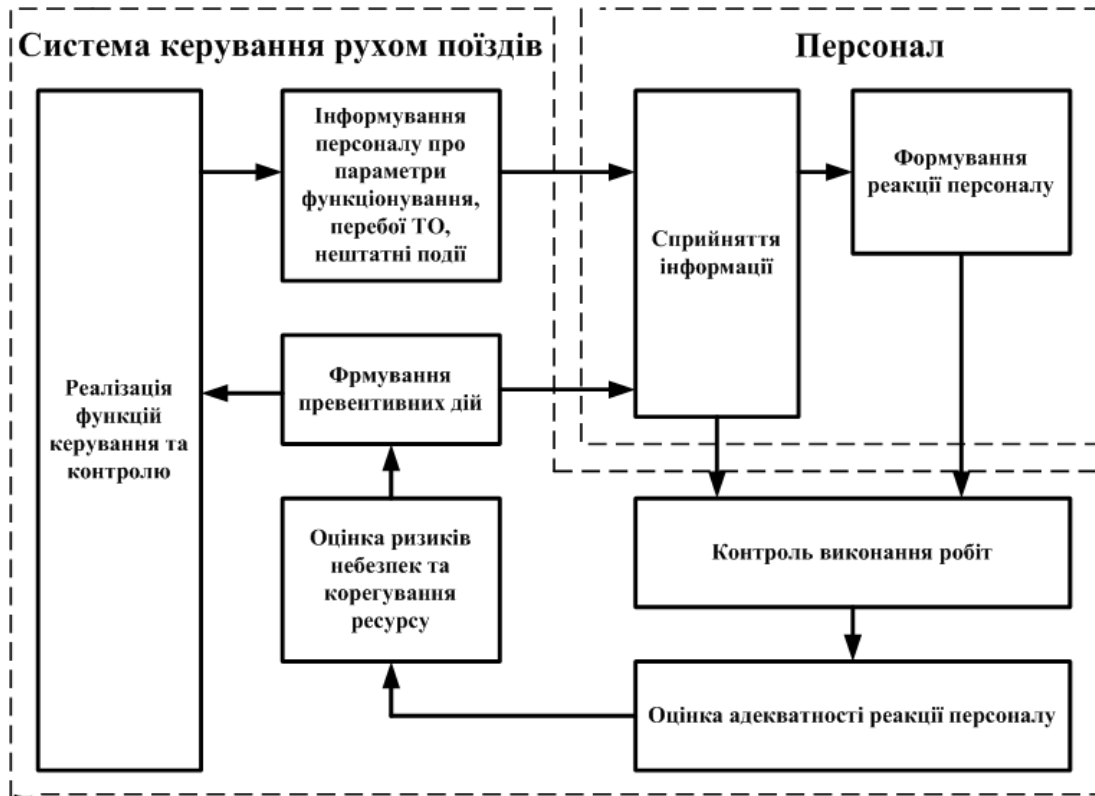


Рисунок 3.9 – Блок-схеми інтелектуальної інтерактивної взаємодії системи мікропроцесорної централізації з персоналом

У разі виникнення розбіжностей хоча б за одним параметром здійснюється оцінювання можливих ризиків небезпек (наприклад при невиконанні регламентної роботи) та здійснюється корегування ресурсу елемента системи у обслуговуванні якого допущені порушення.

Відповідно до величин отриманих оцінок ризиків та ресурсу формуються превентивні дії, які забезпечують локалізацію небезпеки. Одночасно з цим здійснюється інформування про їх зміст технічного і експлуатаційного персоналу.

Якщо реалізація превентивних дій відбувається за участю персоналу, то як і раніше перевіряється сприйняття вказаної інформації, контролюються його дії та оцінюється її адекватності на нові ризики, що виникають внаслідок помилок, або з інших причин.

При цьому важливим аспектом є те що результат може бути досягнутий лише при наявності всієї сукупності суттєвих ознак. За відсутності хоча б однієї суттєвої ознаки результат не досягається.

Таким чином, з урахуванням вищевикладеного, в процесі роботи система мікропроцесорної централізації обмінюється даними з підсистемою ідентифікації та локалізації небезпеки, яка в свою чергу отримує і використовує інформацію від підсистеми ТО та підсистеми експлуатації. На підставі оброблюваної інформації проводиться обмін даними з підсистемою діагностики персоналу, з видачею актуальної інформації експлуатаційному та технічному персоналу, для взаємодії відповідно з підсистемами ТО та експлуатації.

Підсистема діагностики персоналу на основі запрограмованих критеріїв визначає адекватність поведінки як експлуатаційного, так і технічного персоналу в поточній ситуації на технологічному об'єкті. Якщо є дії, які не відповідають ситуації (наприклад, спроби втрутитися в роботу виконавчих пристроїв при виконанні призначених їм функцій), підсистема видає попередження і в разі його ігнорування блокує відповідне небезпечне діяння за допомогою підсистеми ідентифікації та локалізації небезпеки.

Керуюча команда подається з боку МПЦ, включаючи її програмне і апаратне забезпечення, тільки за умови проходження діагностичного контролю в обох інтелектуальних підсистемах. Реалізація такого підходу використовує як апаратні так і програмні засоби.

Важливою складовою в реалізації вищевказаної технології інтерактивного моніторингу ІКС є також використання програмного забезпечення з відкритим кодом, робота якого оперативно діагностується не тільки на рівні зовнішніх

сигналів, але і шляхом контролю внутрішніх змінних і проходження логічних ланцюжків.

Це дозволить, окрім іншого, виявляти градуйовані предотказні стани об'єкта на підставі оперативного аналізу станів змінних і його зіставлення з еталонними значеннями. Тим самим підвищується ефективність і достовірність визначення технічного стану їх програмно-апаратних пристроїв в процесі технічної експлуатації. Застосування такого підходу дозволяє змінити існуючу технологію обслуговування пристроїв СЦБ і перейти до стратегії ТО за поточним станом, і відповідно до скорочення експлуатаційних витрат в господарствах сигналізації та зв'язку.

3.3 Модель комплексної взаємодії персоналу і технічних засобів систем мікропроцесорної централізації

Для реалізації інтерактивної схеми взаємодії персоналу і технічних засобів з використанням моніторингу їх роботи, обслуговування та безпеки дій персоналу (рисунок 3.8) передбачається підхід, заснований на формально - множинному встановленні адекватності дій персоналу за визначеними критеріями. Він заснований на ізоморфізмі множин станів і дій, визначення яких здійснюється з використанням апарату теорії груп і відносин.

Кожен компонент блок - схеми, що зображена на рисунку 3.8, інтерпретується впорядкованим набором об'єктів, їх станами і властивостями. В рамках набору класи еквівалентності формуються відповідно до структурно-функціональної ознаки. Для кожного класу відповідність встановлюється на рівні технічної діагностичної підсистеми, що доводиться з використанням теореми про перестановки елементів групи. У той же час критерієм неадекватних дій будь-якого персоналу (оперативного або технічного) є порушення встановленого ізоморфізму, виявленого діагностичною підсистемою.

Окремим етапом встановлюється адекватність комплексної взаємодії всіх компонентів, пов'язаних з інтерактивною взаємодією з системою мікропроцесорної централізації. Для цього порівняння по парам виконується з подальшим комплексним аналізом з використанням графоаналітичного методу (рисунок 3.10) [127]

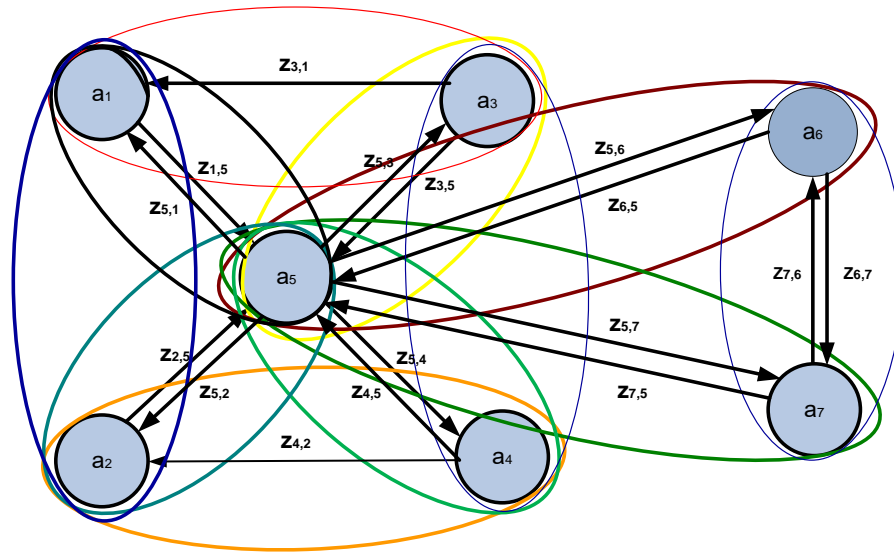


Рисунок 3.10 – Графоаналітична модель комплексного визначення адекватності всіх компонентів інтерактивної взаємодії системи мікропроцесорної централізації на основі діагностування персоналу

Відповідність вершин графа з елементами схеми визначається наступним чином:

- a_1 - підсистема обслуговування;
- a_2 - операційна підсистема;
- a_3 - технічний персонал;
- a_4 - оперативний персонал;
- a_5 - підсистема ідентифікації та локалізації небезпеки;
- a_6 - апаратне забезпечення;
- a_7 - програмне забезпечення.

Отримана коректність визначається на основі порівняння фактичного упорядкованого набору посилок $Z = \{z_{ij}\}$ із еталонним, який закладений в підсистемі технічної діагностики.

Графоаналітичною моделлю існуючої системи забезпечення безпеки системи мікропроцесорної централізації, що включає в себе набір ремонтно-відновлювальних робіт, нормативних документів і організаційного компонента подано на рисунку 3.11

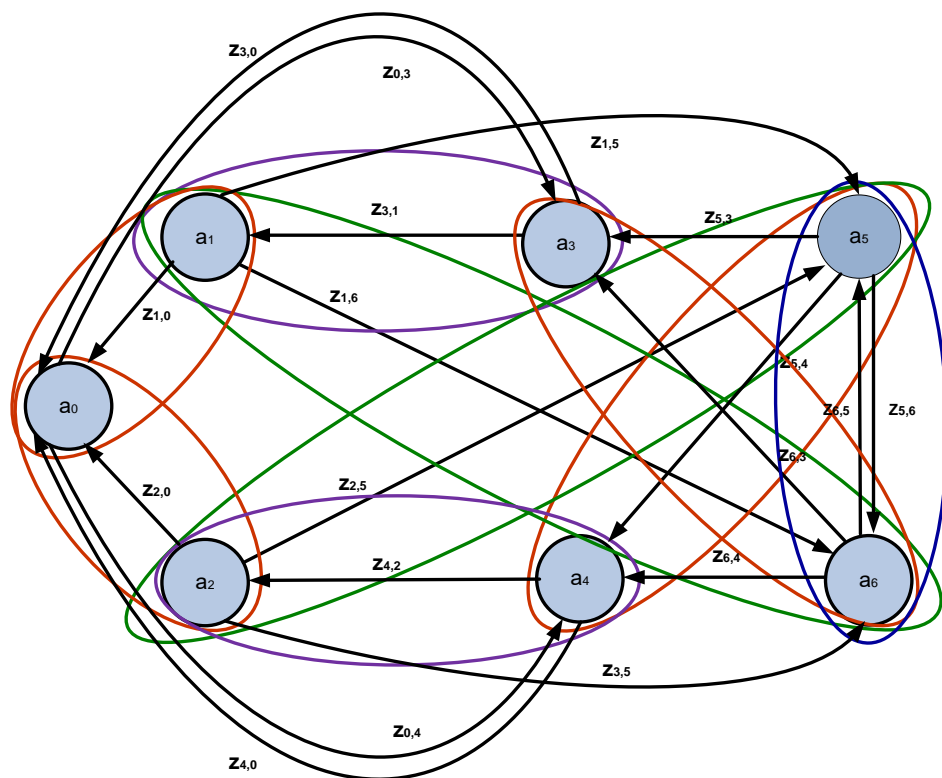


Рисунок 3.11 – Графоаналітична модель існуючої системи забезпечення безпеки системи мікропроцесорної централізації.

Відповідність вершин графа з елементами схеми визначається наступним чином:

- a_0 – підсистема безпеки руху та ревізорський апарат
- a_1 - підсистема обслуговування;
- a_2 - операційна підсистема;

- **a₃** - технічний персонал;
- **a₄** - оперативний персонал;
- **a₅** - апаратне забезпечення;
- **a₆** - програмне забезпечення.

Для отримання більш повних результатів доцільним є порівняння запропонованої моделі комплексного визначення адекватності інтерактивної взаємодії з, але це потребує окремих досліджень та можливо на наступних етапах.

3.4 Метод оцінювання структур окремих систем мікропроцесорної централізації на основі теорії графів

Незважаючи на те що всі існуючі вітчизняні та закордонні системи мікропроцесорної централізації призначені для виконання однакових функцій, всі вони мають окремі особливості як на програмному так і на апаратному рівні. Ці особливості на теперішній час не помітні ні технічному ні технологічному персоналу лише завдяки тому, що вони впроваджуються та експлуатуються самостійно і майже не мають необхідності інтеграції одна в одну. Але сучасний світовий розвиток транспортних технологій ставить перед розробниками принципово нові задачі - об'єднання в єдиний комплекс систем та пристроїв залізничної автоматики різного призначення, що примушує кардинально переробити логіку функціонування цих систем та пристроїв, реалізуючи системну інтеграцію та уніфікацію на всіх рівнях. Для досягнення цього доцільно дослідити структури окремих існуючих систем мікропроцесорної централізації щоб при їх проектуванні і експлуатації були відображені взаємодії між елементами структури, оцінені їх взаємні впливи. Аналіз таких структур найбільш ефективно здійснювати з використанням теорії графів [59].

Для дослідження окремих існуючих сучасних систем мікропроцесорних централізацій пропонується використовувати графоаналітичний метод. На основі даного методу можливо створити їх моделі, дослідження яких дозволяє відображати взаємодії між елементами структури, оцінювати їх вплив однієї на одну, виявляти «слабкі» місця в структурі, аналізувати поведінку системи та ін.

Тобто виявити критичні структурні властивості, що призводять до зниження ефективності функціонування МПЦ. Дослідження проводяться шляхом порівняльного структурного аналізу.

Використовуючи [37, 128], визначено елементи структури системи МПЦ «Залізничавтоматика» що відповідають вершинам графа (таблиця 3.1) відповідно до якої розроблено граф її структури представлений на рисунку 3.12.

Таблиця 3.1 – Відповідність елементів структури МПЦ- ТЕМП до вершин графа

Рівні ієрархії	Елемент структури	Вершина графа
Рівень виконавця	ДСП	1
	ІНН	2
Інформаційно – керуючий рівень	АРМ – ДСП (основний)	3
	АРМ – ДСП (резервний)	4
	АРМ – ІНН	5
Мережа	Мережа зв'язку 1	6
	Мережа зв'язку 2	7
Рівень логічного керування та контролю	ЦПУ 1	8
	ЦПУ 2	9
	Об'єктні контролери стрілки	10
	Об'єктні контролери світлофори	11
	Об'єктні контролери переїзди	12
	Об'єктні контролери рейкові кола	13

Технічне забезпечення мережі зв'язку позначається як вершина графа (рисунок 3.12).

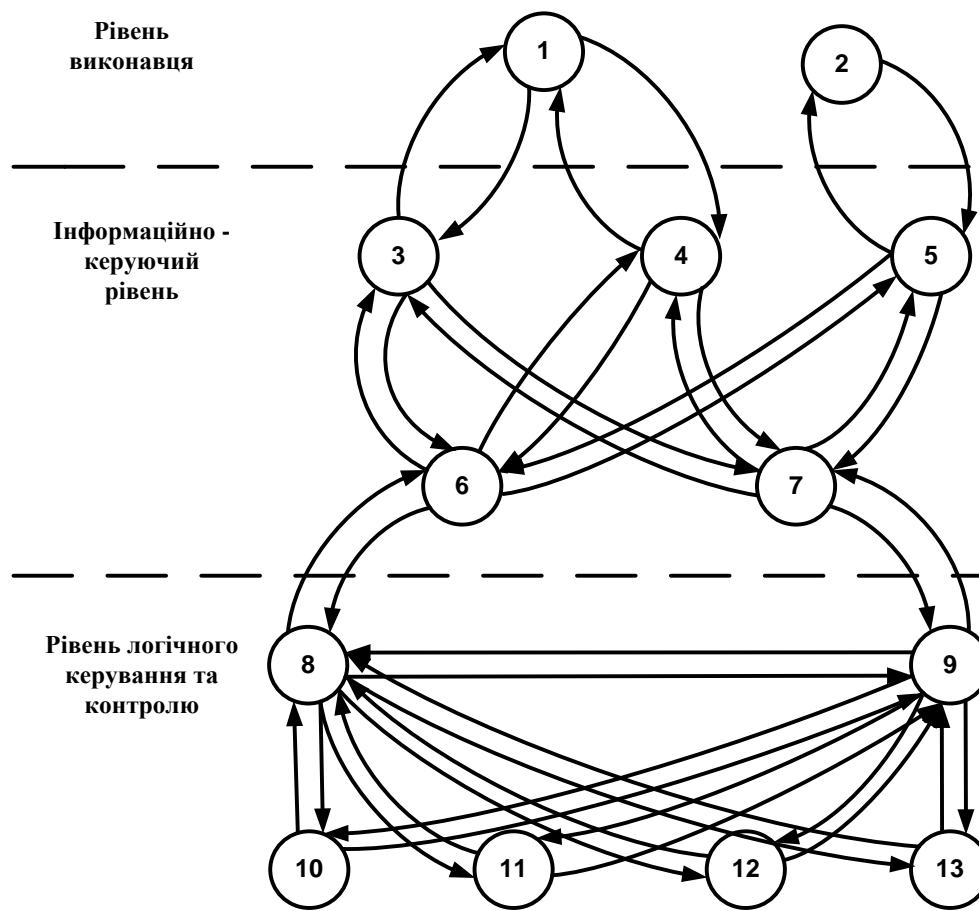


Рисунок 3.12 – Граф структури системи МПЦ «Залізничавтоматика»

Граф є орієнтованим, тому можливо отримати матриці для їх математичного дослідження.

Матрицею суміжності орграфу, що має n вершин, є матриця, елемент якої $a_{ij} = 1$, якщо вершина i суміжна до вершини j та $a_{ij} = 0$ в іншому випадку (3.1) [129].

$$A = \| a_{ij} \|_{n \times n}, \quad (3.1)$$

де n – вершина графа;

a_{ij} – елемент матриці графа.

Матриця суміжності системи МПЦ «Залізничавтоматика» подано на рисунку 3.13.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	p^+
1			1	1										
2					1									
3	1					1	1							
4	1					1	1							
5		1					1							
6			1	1				1						
7			1	1	1				1					
8						1		1	1	1	1	1	1	
9							1	1		1	1	1	1	
10								1	1					
11								1	1					
12								1	1					
13								1	1					
p^-														

Рисунок 3.13 – Матриця суміжності графа структури системи МПЦ
«Залізничавтоматика»

Далі використовується матриця суміжності, в якій сума елементів рядка дорівнює напівступені виходу відповідної вершини, а сума елементів стовпця – напівступені заходу [129].

Дані характеристики обчислюються за формулами:

$$p_i^+ = \sum_{j=1}^n a_{ij}, \quad (3.2)$$

$$p_j^- = \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad (3.3)$$

де p_i^+ і p_j^- – напівступені виходу і заходу вершин i та j відповідно;

n – число вершин орграфа;

a_{ij} – елемент матриці суміжності A .

Ступінь p_i вершини i визначається як загальне число дуг, інцидентних даній вершині, тобто складанням напівступені заходу і виходу вершин [130]

$$p_i = p_i^+ + p_j^-, \quad (3.4)$$

Напівступені виходу та заходу вершин для графа структури МПЦ «Залізничавтоматика» наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Напівступені виходу та заходу вершин для графа структури системи МПЦ «Залізничавтоматика»

Вершини	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P_i^+	2	1	3	3	3	4	4	6	6	2	2	2	2
P_j^-	2	1	3	3	3	4	4	6	6	2	2	2	2
P_i	4	2	6	6	6	8	8	12	12	4	4	4	4

Величина P_i є результатом суми P_i^+ та P_j^- . Максимальне значення P_i в таблиці напівступенів виходу та заходу свідчить про найбільш навантажений елемент в структурі системи керування.

Побудуємо математичну модель аналізу і оцінки системи керування в вигляді функції F , яка б ставила у відповідність графу $G(X,U)$ системи мікропроцесорної централізації вектор з множини $K \in R^4$, значення якого характеризують систему по чотирьом параметрам.

$$F(G(X,U)) = \begin{pmatrix} f_1(G(X,U)) \\ f_2(G(X,U)) \\ f_3(G(X,U)) \\ f_4(G(X,U)) \end{pmatrix}$$

Множиною вхідних даних (область визначення функції) $F(G(X,U))$ є множина графів U , що відображають структуру системи керування.

Множина вершин X інтерпретує множину елементів системи мікропроцесорної централізації, а множина ребер U – множину зв'язків між ними (3.5).

$$G=G(X,U), \quad (3.5)$$

де X – множина елементів МПЦ;

U – множина ребер МПЦ.

Як результат оцінки значення функції $F(G(X,U))$ - отримаємо вектор з чотирьох чисел

$$(f_1(G(X,U)), f_2(G(X,U)), f_3(G(X,U)), f_4(G(X,U))) = \begin{pmatrix} f_1(G(X,U)) \\ f_2(G(X,U)) \\ f_3(G(X,U)) \\ f_4(G(X,U)) \end{pmatrix} \in \mathbb{R}^4$$

Таким чином, областю значень функції $F(G(X,U))$ визначимо множину K , яка є підмножиною чотиривимірного числового простору $K \in \mathbb{R}^4$

Множина K є декартовий добуток множин $K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4$, де $K_i \in \mathbb{R}^1$ для $i=1,2,3,4$. Також, в зв'язку із специфікою функції, компоненти її не рівнозначні, тому накладаються певні обмеження на область значення кожної компоненти окремо.

Компонент $f_1(G(X,U))$ функції $F(\)$ відповідає коефіцієнту структурної надмірності M . З таблиць напівступеней виходу та заходу можливо визначити його структурну надмірність за формулою 3.6, яка характеризує перевищення загального числа зв'язків над мінімально необхідним для забезпечення зв'язності МПЦ [131].

$$f_1(G(X,U)) = \omega M = -\frac{1}{(n-1)^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} - \frac{1}{n-1} \quad (3.6)$$

де n – число вершин МПЦ;

a_{ij} – елемент матриці суміжності МПЦ.

Так як граф $G(X,U)$ зв'язаний, то маємо оцінку для суми:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \leq (n-1)^2 \text{ зверху,}$$

$$\text{та } n-1 \leq \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \text{ знизу.}$$

Для $f_1(G(X,U))$ маємо оцінку

$$0 \leq f_1(G(X,U)) \leq 1 - \frac{1}{n-1} < 1$$

Таким чином область значень $f_1(G(X,U))$ є множина $K_1 = [0; 1)$.

Для графа структури системи МПЦ «Залізничавтоматика» коефіцієнт структурної надмірності

$$f_1(G(X,U)) = \omega M = \frac{40}{196} - \frac{1}{14} = 0,11227.$$

Побудуємо матрицю відстаней орграфа $R = \| r_{ij} \| n \times n$, в якій елемент r_{ij} дорівнює довжині найкоротшого шляху з вершини i в вершину j . Якщо такого шляху немає, то відповідний елемент прирівнюється нескінченності $r_{ij} = \infty$, а $r_{ii} = 0$ [129].

Матриця відстаней системи МПЦ «Залізничавтоматика» представлена на рисунку 3.14.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1		4	1	1	3	2	3	3	4	5	6	7	8
2	4		3	3	1	2	3	3	4	5	6	7	8
3	1	3		2	2	1	1	2	3	4	5	6	7
4	1	3	2		2	1	1	2	3	4	5	6	7
5	3	1	2	2		2	1	2	3	4	5	6	7
6	3	3	1	1	2		2	1	2	3	4	5	6
7	2	2	1	1	1	2		2	1	2	3	4	5
8	3	3	2	2	2	1	2		1	1	1	1	1
9	4	4	3	3	3	2	1	1		1	1	1	1
10	5	5	4	4	4	3	2	1	1		2	3	4
11	5	5	4	4	4	3	2	1	1	2		3	4
12	5	5	4	4	4	3	2	1	1	2	3		4
13	5	5	4	4	4	3	2	1	1	2	3	4	

Рисунок 3.14 – Матриця відстаней графа структури системи МПЦ «Залізничавтоматика»

Компонент $f_2(G(X,U))$ функції $F(\cdot)$ відповідає коефіцієнту структурної компактності R , що відображає близькість елементів структури МПЦ між собою і обчислюється за допомогою матриць відстаней [129].

Формула обчислення

$$f_2(G(X,U)) = \frac{n}{n-1} - \frac{1}{n(n-1)^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij}, \quad (3.7)$$

де r_{ij} - елемент матриці відстаней.

Так як величина $\frac{1}{n(n-1)^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij}$ має оцінку

$$\frac{1}{n(n-1)^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij} \leq 1 \text{ зверху, та}$$

$$\frac{1}{n-1} \leq \frac{1}{n(n-1)^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij} \text{ -знизу,}$$

то для функції $f_2(G(X,U))$ вірно:

$$\frac{1}{n-1} \leq f_2(G(X,U)) \leq 1$$

Таким чином область значень $f_2(G(X,U))$ є множина $K_2 = (0; 1]$.

В системі мікропроцесорної централізації показник компактності свідчить про швидкість доставлення інформації від ДСП до об'єктів керування через елементи структур. Близькість показника до 1 свідчить про високу ступінь компактності.

Для графа структури системи МПЦ «Залізничавтоматика» коефіцієнт структурної компактності

$$f_2(G(X,U)) = \omega R = \frac{15}{14} - \frac{1}{15 \cdot 196} \cdot 730 = 1,0714 - 0,2482 = 0,8231.$$

Контури керування визначають найбільш стійкі, охоплені зворотним зв'язком, функціональні підструктури МПЦ. Зі збільшенням кількості дуг число основних контурів збільшується, проте значне збільшення числа основних

контурів може призвести до зменшення ступеня централізації керування в структурі, тобто до зниження ефективності керування. Тому на практиці корисно досліджувати матрицю основних контурів МПЦ, яка відображає властивості системи всіх контурів [130].

Компонент $f_3(G(X,U))$ функції $F(\cdot)$ відповідає числу основних контурів зв'язного орграфу μ визначається формулою

$$f_3(G(X,U)) = \mu = m - n + 1, \quad (3.8)$$

де m – число дуг;

n – число вершин.

Тому область значень K_3 функції $f_3(G(X,U))$ співпадає з множиною натуральних чисел $N - K_3 = N$.

Для графа структури системи МПЦ «Залізничавтоматика» число основних контурів

$$f_3(G(X,U)) = 40 - (13 + 1) = 26$$

Компонент $f_4(G(X,U))$ функції $F(\cdot)$ відповідає за ступінь централізації структури системи керування та характеризує близькість її топології до стандартної централізованої (або радіальної) структури. Для оцінки ступеня централізації структури обчислюємо індекс центральності Ω за наступною формулою [67, 68, 69]

$$f_4(G(X,U)) = \Omega = \frac{2(n-1)}{n-2} \left(1 - \frac{n \min_k \sum_{j=1}^n r_{kj}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij}} \right), \quad (3.9)$$

де $\min_k \sum_{j=1}^n r_{kj}$ – мінімум значень суми по рядкам матриці відстаней де k

змінюється від 1 до n ;

r_{ij} – сума значень елементів матриці відстаней;

n – число вершин МПЦ.

Ступінь централізації структури графа змінюється від 0 – для кільцевої структури, до 1 – для структури «зірка». Тому область значень K_4 функції $f_4(G(X,U))$ дорівнює $[0; 1]$.

Індекс центральності для структури системи МПЦ «Залізничавтоматика»

$$\Omega = \frac{24}{11} \left(1 - \frac{13 \cdot 40}{730} \right) = 0,63$$

Таким чином область значення функції $f_4(G(X,U))$ є декартовий добуток множин $[0; 1) \times (0; 1] \times N \times [0; 1].$

Так як дослідження проводиться на структурному рівні, то такі чинники як вартість та показники безпеки не враховуються.

Результати аналізу показників структурної надмірності та основних контурів використовуються у випадку коли виконується великий об'єм робіт на станції та відповідно по системі мікропроцесорної централізації передаються великі об'єми інформації.

В такому випадку важливим є забезпечення живучості системи для безперервного її функціонування при несправностях елементів чи мереж зв'язку системи. Тобто доцільно використовувати систему з найбільшими значеннями даних показників.

При аналізі коефіцієнтів структурної надмірності системи мікропроцесорної централізації визначено, що якщо значення коефіцієнта 0, то це свідчить про мінімальне значення структурної надмірності. Цей показник для системи МПЦ що досліджується свідчить про високу живучість системи, яка забезпечується резервуванням технічних засобів.

За умови, що під обладнання системи МПЦ на посту ЕЦ відведено мінімум місця, та потрібно обрати систему з найбільшим коефіцієнтом структурної компактності. Якщо значення коефіцієнта структурної компактності 1, то це свідчить про максимальне значення структурної компактності. При проведенні

аналізу системи МПЦ встановлена висока структурна компактність та по своєму значенні наближена до 1. Цей показник свідчить про швидкість доставлення інформації від ДСП до об'єктів керування через елементи структур та компактність обладнання системи.

При передаванні інформації по великій кількості елементів структури збільшується вірогідність її спотворення та збільшується негативний вплив зовнішніх шкідливих факторів. Контури керування визначають найбільш стійкі, охоплені зворотним зв'язком, функціональні підструктури МПЦ. Збільшення кількості дуг свідчить про підвищення живучості та зв'язності структури керування.

При аналізі найбільш навантажених вершин, можливо сказати, що елемент структури відповідної вершини бажано зарезервувати.

В системі МПЦ «Залізничавтоматика», що досліджується, такими вершинами є ЦПУ1 та ЦПУ 2 що є основними елементами МПЦ у які завантажуються прикладне програмне забезпечення що реалізує логіку роботи станції та здійснює: збір інформації з модулів введення, управління модулями виводу, обміну даними з іншими процесорними модулями комплексу та АРМ, контроль поточного стану всіх елементів ПЛК. Кожен процесорний модуль ЦПУ має порт мережі гарячого резервування Hot Standby.

У МПЦ «Залізничавтоматика» застосовуються інформаційні мережі, побудовані лише на стандартних протоколах передачі даних. В якості основного та резервного каналів обміну даними між АРМ ДСП, АРМ ШН, ПЛК та ОКСС використовується модифікований Ethernet. Всі мережеві вузли підключені до комутатора за радіальною багатоточковою топологією. Для забезпечення надійної та безперебійної роботи мережі, забезпечується 100% резервування каналу даних по схемі «АБО», без переривання процесу управління.

Якщо об'єкти керування та контролю на станції зосереджені, то доцільно використовувати більш централізовану структуру системи МПЦ.

Числові характеристики отримані в ході дослідження представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Зведена таблиця результатів дослідження

Показник дослідження	Найбільш навантажена вершина	Коефіцієнт структурної надмірності M	Коефіцієнт структурної компактності R	Основні контури μ	Індекс центральності Ω
МПЦ «Залізничавтоматика»	ЦПУ	0,11227	0,8231	26	0,63

Розроблена модель дозволяє дослідити будь яку систему МПЦ та визначити взаємодії між елементами структури, оцінку їх взаємних впливів, виявити «слабкі» місця в структурі.

3.5 Висновки до розділу 3

1. Проведено дослідження системи мікропроцесорної централізації з урахуванням інтерактивної взаємодії всіх типів персоналу і технології їх роботи.
2. Проведено моделювання процедури прийняття керуючих рішень в системі мікропроцесорної централізації в умовах впливу дестабілізаційних факторів.
3. Розроблена процедура інтерактивної інтелектуальної взаємодії на прикладі станційної мікропроцесорної системи централізації з можливістю аналізу та контролю фактичних дій персоналу при проведенні планових та позапланових робіт з технічного обслуговування.
4. Запропоновано змінити існуючу систему взаємодії людини - оператора з системами мікропроцесорної централізації, засновану на інтерактивній взаємодії апаратно - програмних засобів, як з оперативним, так і з технічним персоналом.

5. Запропоновано процедуру контролю персоналу за рахунок організації інтерактивної взаємодії системи мікропроцесорної централізації з технічним та експлуатаційним персоналом

6. Розроблено граф комплексно визначення адекватності поведінки як експлуатаційного, так і технічного персоналу в поточній ситуації на технологічному об'єкті на основі запрограмованих критеріїв. Якщо є дії, які не відповідають ситуації (наприклад, спроби втрутитися в роботу виконавчих пристроїв при виконанні призначених їм функцій), підсистема видає попередження і в разі його ігнорування блокує відповідне небезпечне діяння за допомогою підсистеми ідентифікації та локалізації небезпеки.

7. Використовуючи теорію графів розроблено модель структури системи мікропроцесорної централізації, що відображає взаємодії між елементами структури, оцінку їх взаємних впливів, дозволяє виявити «слабкі» місця в структурі та провести аналіз поведінки систем та ін. шляхом порівняльного структурного аналізу.

8. Отримані матриці суміжності, матриці відстаней та числові характеристики дослідження: найбільш навантажені вершини, коефіцієнт структурної надмірності (M), коефіцієнт структурної компактності (R), основні контури (μ), індекс центральності (Ω).

9. Розроблені моделі інтерактивної взаємодії людини і технічних засобів дозволяють: надати системам МПЦ можливість аналізу та контролю фактичних дій персоналу при проведенні планових та позапланових робіт з ТО та можливості коригувати свою роботу; дослідити будь яку систему МПЦ та визначити взаємодії між елементами структури, оцінку їх взаємних впливів, виявити «слабкі» місця в структурі.

РОЗДІЛ 4

МЕТОДИ ОПЕРАТИВНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ЛОКАЛІЗАЦІЇ НЕБЕЗПЕК В ПРОЦЕСІ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ

4.1 Використання методів оцінювання ризиків для оперативної ідентифікації та локалізації небезпек в процесі технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації

Для надання системам мікропроцесорної централізації можливості коригувати свою роботу в процесі технічної експлуатації досліджено застосування науково – методологічного апарату ризик-менеджменту, а саме використанням методів оцінювання ризиків.

Для цього доцільно застосування методів: Марківського аналізу, методу Технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності (RCM) та Аналіз впливу людського фактора (HRA). Розглянемо вищевказані методи більш докладно.

Згідно міжнародним стандартам МЕК 61078 Методи аналізу надійності. Метод структурної схеми надійності [132] та ІЕС 61165:2006 Application of Markov techniques [133] Марківський аналіз застосовують у ситуації, коли майбутній стан системи залежить тільки від її поточного стану. Цей метод найбільш доцільно використовувати для аналізу показників функційної безпечності, безвідмовності, ремонтпридатності систем мікропроцесорної централізації, які можуть працювати в багатьох режимах, і в ситуаціях, коли застосування аналізу надійності окремих блоків системи є недоцільним. В залежності від складності системи МПЦ, метод може бути застосований з використанням більш високого порядку процесів Маркова, і обмежений тільки моделлю, математичними обчисленнями і припущеннями.

Марківський аналіз є аналогічним аналізу мережі Петрі за можливістю забезпечення моніторингу та спостереження за станами системи, але на відміну від мережі Петрі метод допускає існування декількох станів в один і той самий час [134]. Тобто його застосування потребує окремого дослідження.

Процес марківського аналізу є кількісним методом і може бути дискретним (використання ймовірностей переходу між станами) або безперервним (використання коефіцієнтів інтенсивності переходу зі стану в стан) і може бути виконаний з використанням комп'ютерних програм. При застосуванні цього методу використовують діаграму станів і переходів, яка є графічним представленням функціонування системи і моделює аспекти надійності поведінки системи в часі. Система розглядається як набір елементів, кожен з яких може існувати тільки в одному з двох станів: непрацездатному або працездатному. Система в цілому, однак, може існувати в різних станах, кожне з яких визначається специфічною комбінацією працездатного і непрацездатного станів її елементів. Таким чином, в момент відмови або відновлення елемента система переходить з одного стану в наступне. Ця модель є моделлю дискретних станів з безперервним часом. Відповідно до цього способу представлення зміни станів системи застосовують методологію аналізу простору станів, що є ефективною при дослідженні надійності систем з резервуванням або систем, відмова яких залежить від послідовних подій, або систем зі складними або багаторівневими стратегіями технічного обслуговування. Всі існуючі на теперішній час системи мікропроцесорних централізацій повністю відповідають зазначеним вище визначенням.

Для проведення марківського аналізу необхідні наступні дані [135]:

- перелік різних станів системи, важливих підсистем або компонентів;
- точне розуміння можливих переходів, які необхідно змоделювати;
- швидкість переходу з одного стану в інший, що зазвичай подана або ймовірністю переходу для дискретних подій, або інтенсивністю відмов (λ) і (або) інтенсивністю відновлення (μ) для безперервних подій.

Приймаємо що системи мікропроцесорої централізації є складними системами що можуть знаходитися в трьох станах: працездатному, погіршеному (частково непрацездатному) і непрацездатному, позначених як стани

S_1 – штатний стан $S_{ш}$;

S_2 – позаштатний запланований, безпечний стан $S_{п.з}$;

S_3 – позаштатний незапланований, безпечний стан $S_{п.н.}$, відповідно.

У будь-який момент часу МПЦ знаходиться в одному з трьох станів.

У таблиці 4.1 наведено ймовірність того, що в наступний момент часу система буде перебувати в стані S_i , де i може бути 1, 2 або 3.

Таблиця 4.1 – Матриця Маркова

Стан в наступний момент часу	Стан у поточний момент часу		
	S_1	S_2	S_3
S_1	0,95	0,30	0,2
S_2	0,05	0,65	0,6
S_3	0	0,05	0,2

Аналогом масиву ймовірностей може бути діаграма Маркова що наведена на рисунку 4.1.

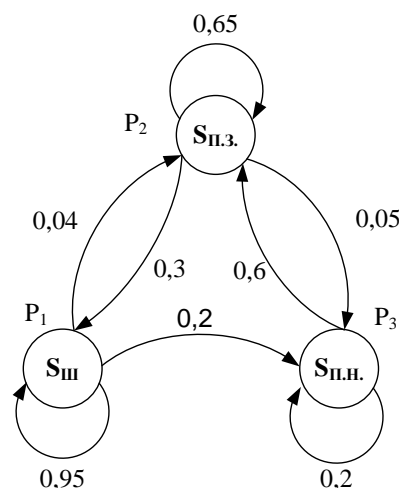


Рисунок 4.1 – Діаграма Маркова паралельної системи із двох ідентичних елементів

Якщо P_i – ймовірність перебування системи в стані i , для $i = 1, 2, 3$, то:

$$P_1 = 0,95P_1 + 0,30P_2 + 0,20P_3; \quad (4.1)$$

$$P_2 = 0,05P_1 + 0,65P_2 + 0,60P_3; \quad (4.2)$$

$$P_3 = 0,05P_2 + 0,20P_3. \quad (4.3)$$

Ці три рівняння залежні, так як будь яке рівняння може бути отримано з двох інших і система рівнянь не може бути розв'язана. Для розв'язання необхідно одне з наведених рівнянь виключити, замінивши його на:

$$1 = P_1 + P_2 + P_3. \quad (4.4)$$

Отримані після розв'язання значення становлять 0,85; 0,13 і 0,02 відповідно для станів 1, 2, 3, тому можемо зробити проміжний висновок що система є повністю функціонуючою протягом 85 % часу, в погіршеному стані протягом 13 % часу і в стані відмови протягом 2 % часу.

Згідно з EN 50126 [4] технічні принципи для експлуатаційної готовності систем мікропроцесорної централізації ґрунтуються на відомостях про:

- надійність;
- ремонтпридатність;
- експлуатацію та технічне обслуговування.

Технічні принципи для безпеки в своїй більшості ґрунтуються на відомостях про:

- всі можливі небезпечні стани системи та показники кожного з них, при всіх режимах експлуатації, ТО і станах навколишнього середовища;
 - відмови, які пов'язані з безпекою;
 - ймовірності виникнення такої відмови;
 - послідовності виникнення подій, відмов які можуть привести до аварії;
- ймовірності з якою кожна з цих подій або відмов відбувається;
- ремонтпридатність всіх пов'язаних з безпекою частин системи;

- процес експлуатації системи і ТО з урахуванням впливу людського фактора на ефективне технічне обслуговування;
- ефективний контроль і заходи щодо уникнення небезпечних станів і зменшення їх наслідків.

Всі відмови негативно позначаються на надійності системи, однак тільки деякі специфічні відмови надають негативний ефект на безпеку при даному конкретному застосуванні. Ці зв'язки подані на рисунку 4.2.

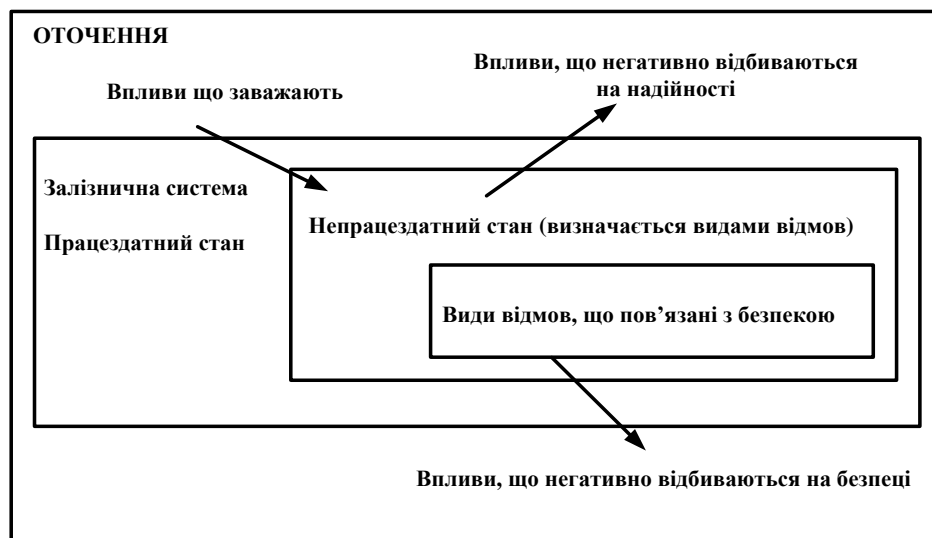


Рисунок 4.2 – Впливи відмов всередині системи

Для забезпечення високого рівня надійності сучасних МПЦ використовується резервування обладнання: ПЛК, вузлів системи, структурне резервування каналів зв'язку. Тому працездатність системи або окремих її елементів залежить від їх стану і можуть бути:

$S_{шт}$ – штатний, коли обидва елементи знаходяться в працездатному стані;

$S_{п.з.}$ – позаштатний запланований, коли один елемент є на відновленні, а інший перебуває в працездатному стані;

$S_{п.н.}$ – позаштатний незапланований, коли обидва елементи відмовили і є на відновленні.

Якщо інтенсивність відмови кожного елемента взяти рівною λ , а інтенсивність відновлень – рівною μ , і вони є постійними, то діаграму стану переходу можна подати у вигляді на рисунку 4.3.

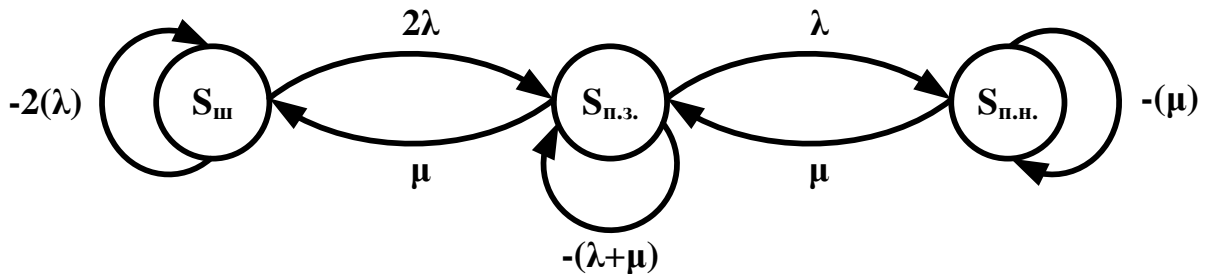


Рисунок 4.3. – Діаграми станів переходу

При цьому інтенсивність переходу зі стану 1 в стан 2 дорівнює 2λ , оскільки відмова будь-якого з двох елементів надає системі стану 2.

Прийmemo що $P_i(t)$ – ймовірність перебування системи в початковому стані i (де $i=1,2$ та 3) в момент часу t ; $P_i(t + \delta t)$ – ймовірність перебування системи в кінцевому стані в момент часу $(t + \delta t)$.

У цьому випадку система рівнянь має такий вигляд:

$$dP_1/dt = 2\lambda P_1(t) + \mu P_2(t), \quad (4.5)$$

$$dP_2/dt = 2\lambda P_1(t) - (\lambda + \mu) P_2(t) + \mu P_3(t), \quad (4.6)$$

$$dP_3/dt = \lambda P_2(t) - \mu P_3(t). \quad (4.7)$$

Для спрощення припустимо також, що необхідна працездатність відповідає стійкому стану системи.

Для вирішення цієї системи диференціальних рівнянь для ймовірностей $P_1(t)$; $P_2(t)$; $P_3(t)$ передбачається що в момент часу $t=0$ система знаходиться в стані 0, тобто:

$$P_1(t) = 1;$$

$$P_2(t) = 0;$$

$$P_3(t) = 0.$$

В цьому випадку коефіцієнт готовності (функція готовності) $K_2(t)$ розраховується за формулою

$$K_2(t) = P_1(t) + P_2(t) \quad (4.8)$$

Якщо δt прямує до нескінченності а dP_i/dt прямує до нуля та використовуючи додаткове рівняння (4.1.4) то можемо спростити рівняння і тоді $K_2(t) = P_1(t) + P_2(t)$ можна записати у вигляді:

$$K_2(t) = (\mu^2 + 2 \lambda \mu) / (\mu^2 + 2 \lambda \mu + \lambda^2). \quad (4.9)$$

Використовуючи ці результати можливо розробити кінцеву матрицю Маркова використовуючи інтенсивність відмов (λ) та інтенсивність відновлення (μ) що представлена в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Кінцева матриця Маркова

Кінцевий стан	Початковий стан		
	$P_1(t)$	$P_2(t)$	$P_3(t)$
$P_1(t+\delta t)$	-2λ	μ	0
$P_2(t+\delta t)$	2λ	$-(\lambda+\mu)$	μ
$P_3(t+\delta t)$	0	λ	$-\mu$

Для кількісної та якісної оцінки надійності (безвідмовності) і безпечного функціонування, при відмовах технічних засобів систем мікропроцесорної централізації використовуються аналітичні методи.

Згідно з визначенням показників надійності та функційної безпеки розрахунок виконується з урахуванням того, що час безвідмовної (безпечної) роботи підпорядковується експоненціальном розподілу.

Для розрахунку показників функційної безпеки (ФБ) МПЦ розробляються розрахунково-логічні схем (РЛС ФБ), спрощений приклад якої наведено на рисунку 4.4.

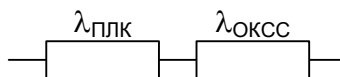


Рисунок 4.4 – Узагальнена РЛС ФБ

Розрахунково – логічні схеми розробляються як для системи в цілому так і для елементів або окремих складових вузлів. Використовуючи РЛС ФБ розраховуються загальні показники безпеки МПЦ, в тому числі і інтенсивність небезпечних відмов λ . Розрахунок показників функційної безпеки та безвідмовності МПЦ, що досліджується наведено в Додатку Б. Узагальнені результати розрахунків приведені в таблицях 4.3 та 4.4

Таблиця 4.3 – Результати розрахунків показників функційної безпеки ПЛК та ОКСС

	$P_{\sigma}(t)$	$Q_{неб}(t)$
Локальна корзина ПЛК	0,993	$0,007 \times 10^{-8}$
ПЛК	0,986	$0,014 \times 10^{-15}$
Локальна корзина ОКСС	0,994	$0,006 \times 10^{-9}$
Схема керування стрілкою	0,924	$0,076 \times 10^{-7}$
Схема керування світлофором	0,9057	$0,0943 \times 10^{-16}$
ОКСС	0,994	$0,006 \times 10^{-15}$

Згідно РЛС ФБ що приведена на рисунку 4.4 загальні показники безпеки МПЦ, що досліджувалась розраховуються за формулами

$$P_{\sigma}(t) = P_{\sigma_ПЛК}(t) * P_{\sigma_ОКСС}(t), \quad (4.10)$$

$$P_{\sigma}(t) = 0,9999999999999998;$$

$$Q_{неб}(t) = 0,0000000000000002.$$

Відповідно інтенсивність небезпечних відмов складає:

$$\lambda_{неб}(t) = 0,0000000000012 = 1,2 \cdot 10^{-12} \text{ 1/год},$$

що значно нижче максимально припустимого значення ($1,8 \cdot 10^{-7}$ 1/год).

Для розрахунку показників безвідмовності досліджуємої МПЦ також розроблена узагальнена розрахунково – логічна схема безвідмовності (РЛС Б) що наведена на рисунку 4.5

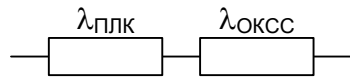


Рисунок 4.5 – Узагальнена РЛС Б

Таблиця 4.4 – Результати розрахунків показників безвідмовності ПЛК та ОКСС

	$P_{\bar{o}}(t)$	$Q_{неб}(t)$
Локальна корзина ПЛК	0,993	$0,007 \times 10^{-8}$
ПЛК	0,976	$0,024 \times 10^{-9}$
Локальна корзина ОКСС	0,9325	$0,0675 \times 10^{-15}$
Схема керування стрілкою	0,923	$0,077 \times 10^{-9}$
Схема керування світлофором	0,9532	$0,04765 \times 10^{-11}$
ОКСС	0,952	$0,048 \times 10^{-9}$

Таким чином загальні показники безвідмовності досліджуємої МПЦ розраховуються по формулі 4.1.11 та складають:

$$P(t) = P_{ПЛК}(t) * P_{ОКСС}(t); \quad (4.11)$$

$$P(t) = 0,999999711;$$

$$Q(t) = 0,000000289.$$

Відповідно інтенсивність захисних відмов досліджуємої системи МПЦ:

$$\lambda_{\text{зах}}(t) = 0,0000173 = 1,73 \cdot 10^{-5} \text{ 1/Год,}$$

що нижче максимально припустимого значення ($35 \cdot 10^{-5}$ 1/ч).

Для подальшого дослідження потрібно також визначення інтенсивності відновлення системи (μ), що на відміну від процесу відмов є цілком штучним (ремонт елемента) і повністю визначається організаційно-технічною діяльністю експлуатаційного персоналу. Тому приймаємо її незалежною від часу $\mu(t) = \mu = \text{const}$

Таким чином отримана можливість визначити інтенсивності небезпечних відмов не тільки для систем МПЦ в цілому та її окремих вузлів, а і для схем керування елементами топологічного розвитку станції (стрілок, світлофорів, рейкових кіл або системи підрахунку осей та ін.) що безпосередньо беруть участь у формуванні та реалізації станційних маршрутів.

Далі сформована база даних про інтенсивності відмов компонентів системи де кожна інтенсивність розглядається не як константа, а як функція що збільшується за експоненціальним законом з урахуванням початкових станів інтенсивностей відмов компонентів та параметрів їх мінливостей. Відповідним чином формується багатовимірний функціонал надійності або безпечності що дозволяє прогнозувати стан системи мікропроцесорної централізації в різних часових точках з урахуванням параметрів зношення елементів. Багатовимірні моделі, що отримана за допомогою пакету прикладних програм математичного моделювання MATLAB 6.0 наведені на рисунках 4.6, 4.7 та 4.8.

На підставі наведених графіків зроблено висновок про стабільну негативну монотонність по відношенню до двох аргументів – часу експлуатації $t_{\text{експ}}$ та інтенсивності відмов λ , тобто збільшення $t_{\text{експ}}$ або λ приводить до зменшення ймовірностей відмови та/або безвідмовної роботи істотних компонентів системи.. Дані, отримані в результаті дослідження, доводять, що протягом 10 років експлуатації МПЦ зберігає відповідність рівню SIL 4 і ще близько 2 років – рівню SIL 3 згідно з вимогами стандартів EN 50126, IEC 61508, EN 50129 CENELEC

[4, 140, 141] що встановлюють цільові показники для погроз які можуть виникнути на будь-якому рівні системи.

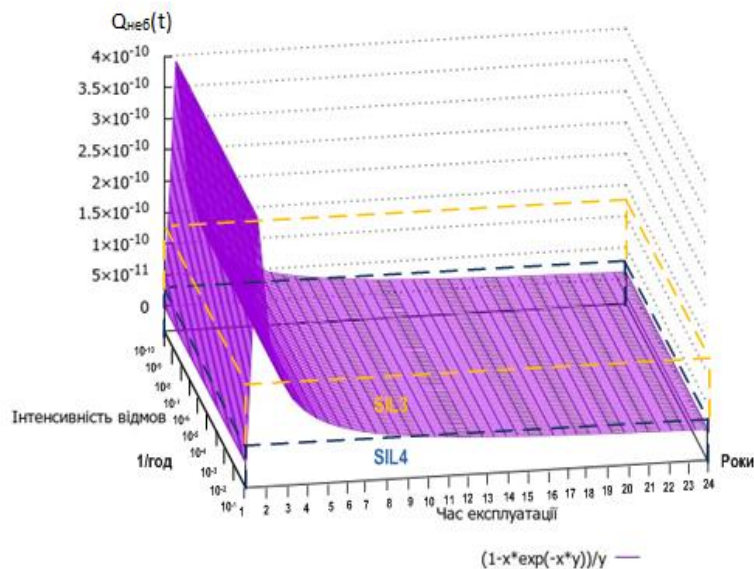


Рисунок 4.6 – Графік залежності імовірності небезпечних відмов від часу експлуатації та мінливої інтенсивності небезпечних відмов схеми керування стрілкою

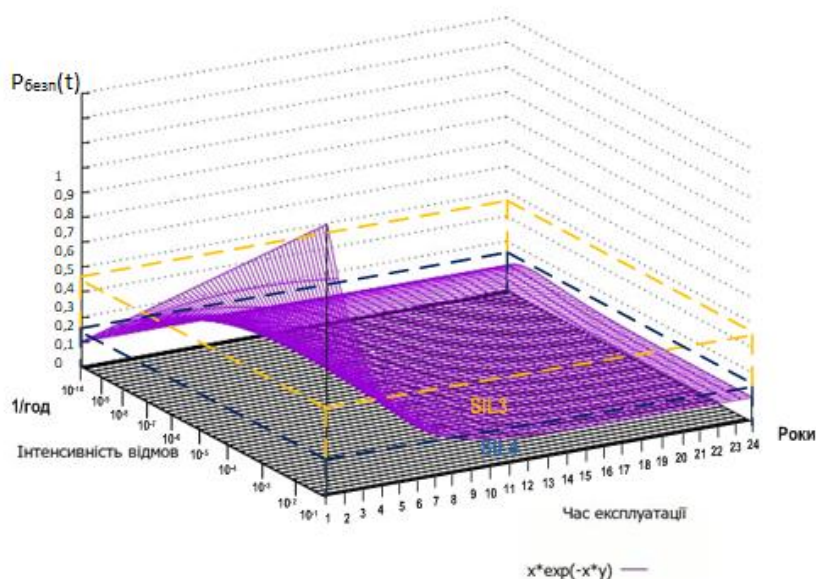


Рисунок 4.7 – Графіки залежності імовірності безпечної роботи від часу експлуатації та мінливої інтенсивності небезпечних відмов ОКСС.

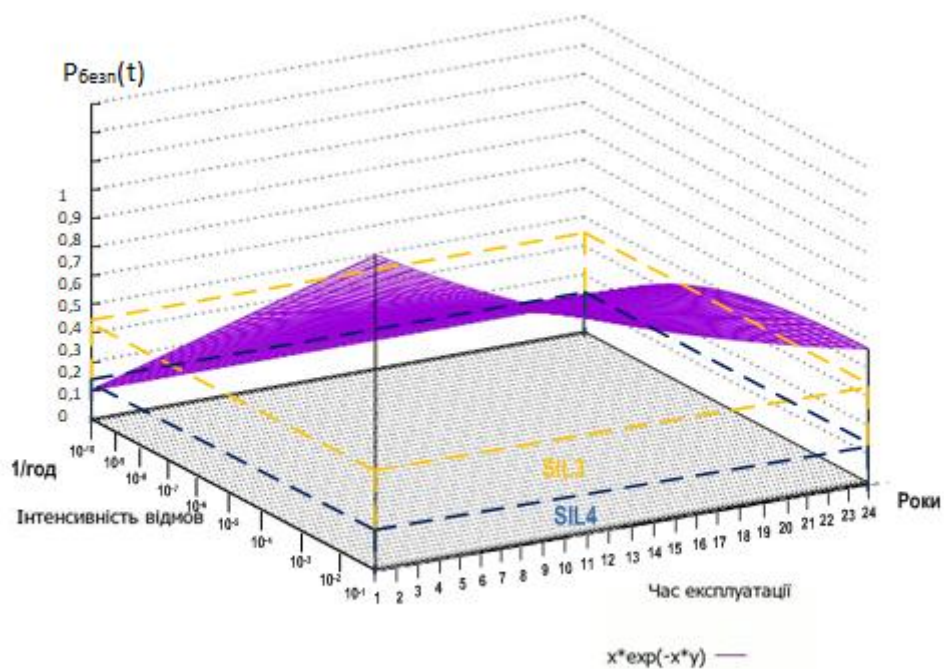
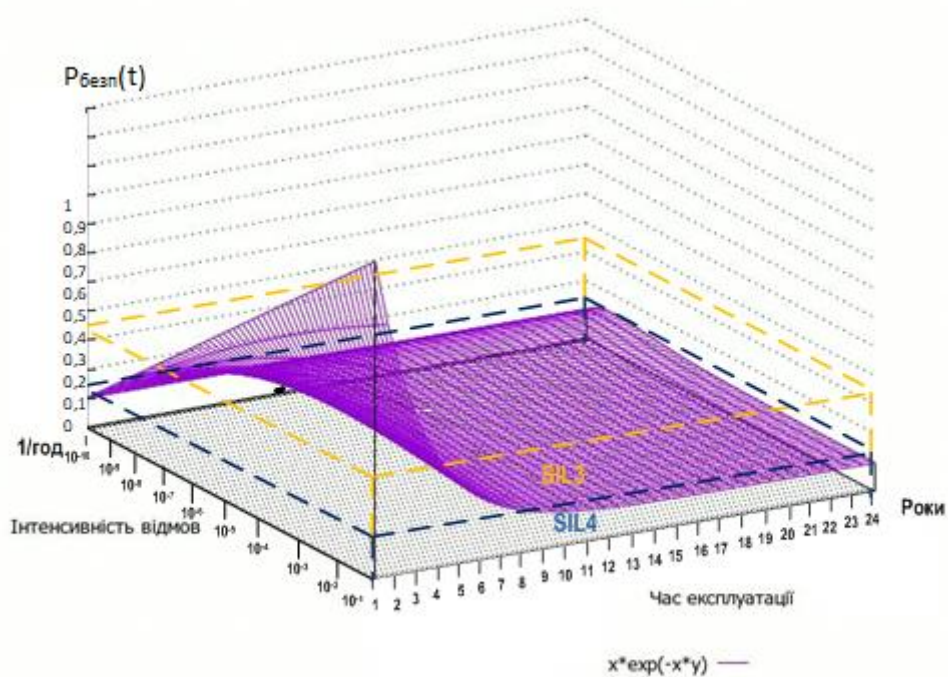


Рисунок 4.8 – Графіки залежності імовірності безпечної роботи від часу експлуатації та мінливої інтенсивності небезпечних відмов схеми керування світлофором, схеми керування стрілкою.

У цілому наведені графіки дають змогу спрогнозувати діапазони значень $t_{\text{експ}}$ і λ при яких МПЦ буде відповідати чинним стандартам.

Отримані залежності можуть бути закладені до технології обслуговування окремих вузлів та елементів систем мікропроцесорної централізації (включаючи схеми управління елементами топології станції) та дозволяють прогнозування передвідмовних станів при яких необхідно виконувати регламентні роботи для забезпечення відповідного рівня безпеки та безвідмовності, тобто дозволяють перейти до технології обслуговування по стану завдяки проактивній діагностиці обладнання, що заснований на аналізі накопичених даних колективної поведінки параметрів системи або окремих її компонентів. Таким чином з'являється реальна можливість виявлення на ранніх стадіях аномалій, прогнозувати поведінку системи та забезпечити виконання алгоритмів динамічної оптимізації, що в підсумку дозволить суттєво підвищити надійність та ефективність технічної експлуатації системи мікропроцесорної централізації.

Наступним кроком необхідно довести адекватність та достовірність розробленої моделі. Завдання валідації моделі полягає в тому, щоб перевірити відповідність розрахункових даних та даних отриманих за допомогою розробленої моделі.

Стандарт ІЕС 61508 «Функційна безпечність електричних, електронних, програмованих електронних систем, пов'язаних з безпекою» [140] є універсальним стандартом функційної безпечності і встановлює рівні повноти безпеки SIL 4 і SIL 3 в діапазоні $>10^{-9} - <10^{-8}$ та $>10^{-8} - <10^{-7}$ відповідно. Діючий в Україні ДСТУ 4178 – 2003 «Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність» [115] в свою чергу встановлює кількісні вимоги функційної безпечності систем мікропроцесорної централізації, як комплексів технічних засобів (КТЗ) керування рухом поїздів, на одну відповідальну функцію на рівні $(0,14 - 0,7) \times 10^{-10}$. Дані отримані в результаті дослідження доводять відповідність отриманих результатів вимогам існуючих стандартів.

Для отримання розрахункових (еталонних) даних проаналізовано статистику технічних відмов існуючих мікропроцесорних систем залізничної автоматики. Адекватність розроблених моделей підтверджується результатами експлуатаційних випробувань МПЦ «Залізничавтоматика». Таким чином, розроблені методи та моделі забезпечують зменшення небезпечних відмов на 12,7 %. Розбіжність теоретичних даних з результатами спостережень не перевищує 15%.

З урахуванням вищенаведеного можна констатувати що при застосуванні методу марківського аналізу ми отримуємо:

- можливість обчислення ймовірностей станів систем;
- можливість обчислення ймовірності перебування системи в різних станах, а отже – оцінки ймовірностей відмови та/або безвідмовної роботи істотних компонентів системи;
- можливість моделювання стратегії технічного обслуговування;
- можливість графічного відображення процесу відмов/відновлень, який подають як перехід від одного символу стану до іншого;
- в моделі можна відобразити порядок, в якому відбуваються багаторазові відмови.

Хоча аналіз простору станів з теоретичної точки зору є гнучким і універсальним, при вирішенні складних практичних завдань необхідні спеціальні запобіжні заходи для зменшення можливості впливу деяких недоліків:

- метод заснований на припущенні про постійність ймовірностей переходу та наявності тільки двох можливих станів елементів системи (відмови і відновлення);
- у методі використано припущення, що всі розглянуті події статистично незалежні, таким чином, майбутні стани не залежать від минулих станів, за винятком безпосередньо попереднього стану;
- кількість станів системи і можливих переходів швидко зростає з ростом кількості елементів в системі;

- у разі великої кількості станів і переходів виникає ймовірність помилок і спотворень;
- для застосування методу необхідно знати всі ймовірності переходу;
- використовувані розрахункові методи можуть бути досить складні і можуть вимагати застосування спеціальних комп'ютерних програм.

Але навіть з врахуванням даних недоліків та обмежень ми маємо можливість досить легкої реалізації методу на одній з мов програмування. Також цей метод є фундаментом для застосування більш складних методів моделювання.

Запропонована в 3.1 процедура прийняття рішення про працездатність системи та можливість безпечної її експлуатації (3.1.5) та розроблена на її основі процедура інтелектуальної взаємодії системи керування з людиною – оператором (3.1.6) є дуже критичними до факторів ТО. Тому наступним кроком розглянуто застосування методу «Технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності (RCM)» що є методом визначення політики проведення технічного обслуговування, для попередження відмов і способів її впровадження по досягненню необхідного рівня безпеки, експлуатаційної готовності та економічності функціонування для всіх типів обладнання який широко й успішно застосовують у різних галузях промисловості.

Застосування методу RCM дає можливість встановити завдання в галузі технічного обслуговування, такі, як моніторинг технічного стану виявлення відмов, планові ремонти і заміна несправного обладнання, поточне технічне обслуговування та в перспективі технічне обслуговування по поточному стану. Наступними діями що можуть настати після проведення цього аналізу передбачають модернізацію обладнання, внесення змін до експлуатаційних документів та процедур технічного обслуговування та/або проведення додаткового навчання.

Застосування цього методу дає найбільші переваги якщо аналіз спрямований на види відмов, що призводять до серйозних наслідків у сфері безпеки або функціонування обладнання, тому його використовують для

забезпечення ефективності ТО на етапі розробки і проектування, а потім на етапі виробництва і технічного обслуговування систем мікропроцесорної централізації.

Також доцільним є застосування методу Аналіз впливу людського фактора (HRA) Human Reliability Assessment який застосовують для оцінки впливу дій людини, в тому числі помилок людини - оператора, на роботу системи.

Застосування даного методу при оцінки дій оператора дозволяє виявити помилки, які можуть негативно впливати на продуктивність праці, визначити способи усунення цих помилок та інших відмов технічних і програмних засобів.

Використання всіх вищенаведених методів ризик-менеджменту хоч і потребують додаткових узагальнених та формалізованих вхідних даних на основі аналізу роботи систем мікропроцесорної централізації, але дозволяють отримувати більш достовірну інформацію про стани МПЦ, та запобігати порушенням нормальної дії пристроїв з мінімізацією впливу «людського фактору» на всіх етапах життєвого циклу.

4.2 Модель визначення технічного стану систем мікропроцесорної централізації на основі моделей інтерактивної взаємодії з людиною – оператором.

Реалізація запропанованої в розділі 3.3 процедури оперативного моніторингу безпеки дій персоналу, моніторингу роботи та технічного обслуговування вимагає суттєвого уточнення взаємодії між функціональними компонентами. З огляду на багаторівневу ієрархічну побудову більшості таких систем, а також їх архітектуру клієнт-сервер, така взаємодія відображається схемою, зображеної на рисунку 4.9 [113].

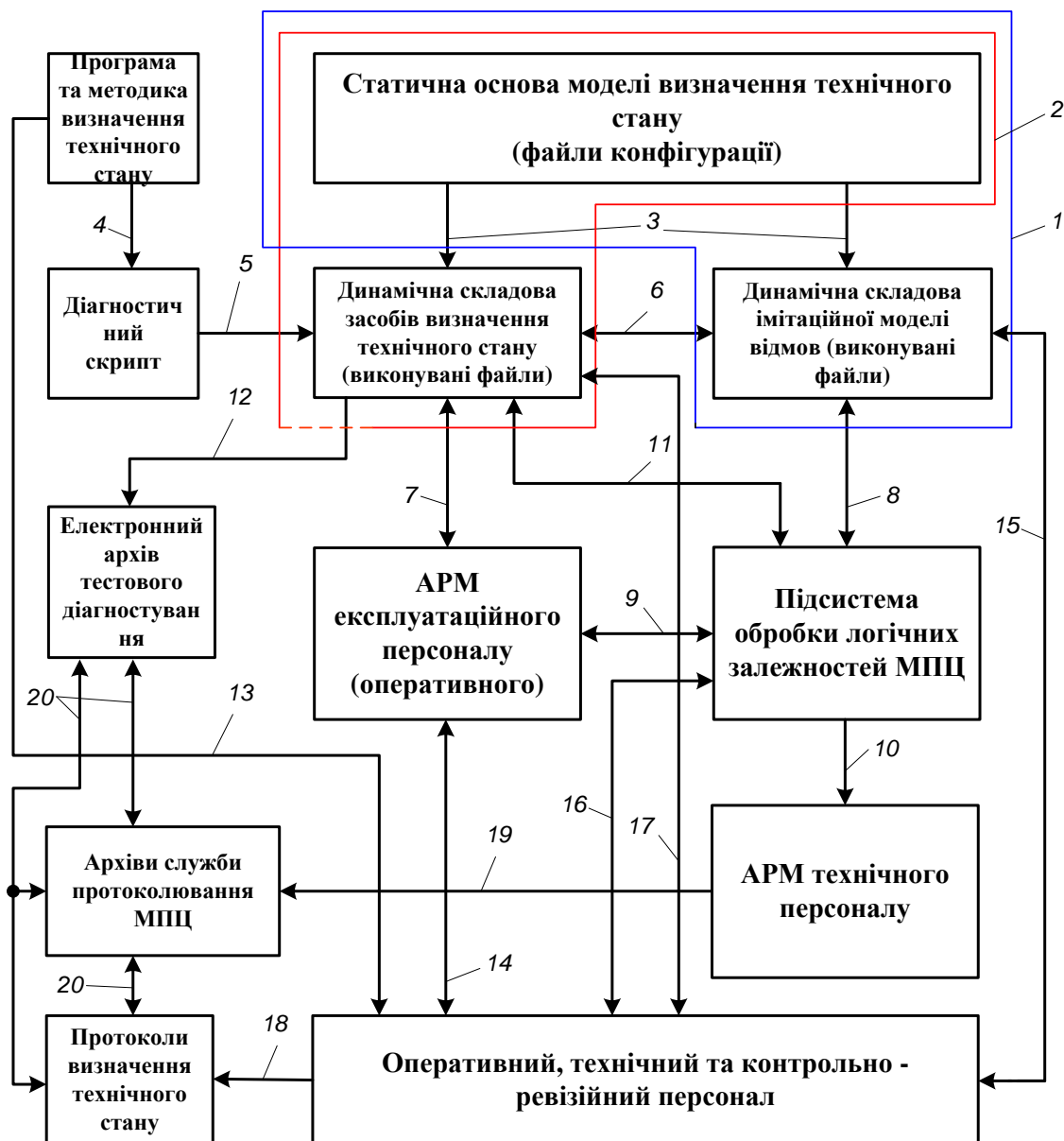


Рисунок 4.9 – Структура міжмодульної взаємодії компонентів моделі визначення технічного стану системи мікропроцесорної централізації

З'єднання та елементи, зазначені на рисунку 4.9, мають таке значення:

- 1 - імітаційна модель датчиків і виконавчих механізмів системи;
- 2 - програмний інструмент для автоматизації визначення технічного стану;
- 3 - процес синтезу (інтеграції) імітаційної моделі і засобів автоматизації визначення технічного стану;

- 4 - процес формування тестового сценарію для визначення технічного стану;
- 5 - процес інтеграції тестового сценарію з інструментом автоматизації визначення технічного стану;
- 6 - процес ініціалізації станів датчиків і виконавчих механізмів;
- 7 - дії експлуатаційного персоналу або їх моделювання (відтворення);
- 8, 9, 10, 11 - моніторинг реакції підсистеми обробки логічних залежностей на тестові і діагностичні впливи, відповідно, від імітаційної моделі датчиків і виконавчих механізмів, автоматизованих робочих місць оперативно-технічного персоналу, засобів автоматизації визначення технічного стану;
- 12 - автоматична реєстрація результатів визначення технічного стану в електронному протоколі;
- 13 - процес взаємодії контрольного і інспекційного персоналу з програмою і технічними засобами для визначення технічного стану в неавтоматичному режимі;
- 14 - процес інтерактивної взаємодії оперативного персоналу і системи або її моделювання (відтворення);
- 15 - процес зміни стану датчиків і виконавчих механізмів системи;
- 16 - процес моделювання дій дестабілізаційних чинників;
- 17 - настройка автоматичного інструменту визначення технічного стану;
- 18 - ручна (неавтоматична) реєстрація результатів визначення технічного стану інспекційним персоналом;
- 19 - аналіз результатів дослідження системи під час визначення технічного стану;
- 20 - порівняння ручної та електронної звітності за результатами визначення технічного стану.

Первісною складовою процесу об'єктивного контролю інтерактивної взаємодії персоналу і обладнання є імітаційна модель датчиків і виконавчих механізмів 1, яка синтезується 3, на основі об'єднання конфігураційних і виконуваних файлів.

Автоматизація визначення технічного стану програмного забезпечення формується для автоматизації визначення технічного стану системи 2, синтезованої аналогічно симуляційної моделі.

Вихідною позицією визначення технічного стану є програма і методологія, на основі якої формуються 4 тестові (діагностичні) сценарії, які покладені 5 в інструмент визначення технічного стану. Відповідно до цього, інструмент автоматизації встановлює початкові, поточні та кінцеві стани датчиків і виконавчих механізмів (включаючи імітацію їх відмов і збоїв) 6 і відтворює роботу оператора шляхом моделювання маніпуляцій на автоматизованому робочому місці у відповідних умовах 7.

Встановлені стани датчиків і виконавчих механізмів і команди оператора подаються в підсистему для обробки логічних залежностей, реакція на які сприймається і контролюється за допомогою імітаційної моделі, автоматизованих робочих місць оперативного, технічного персоналу і засоби автоматизації діагностики через канали 8, 9, 10, 11, також каналний засіб 11 встановлює автоматизацію визначення технічного стану різних станів логічних залежностей, що обробляють канали підсистем (включаючи імітацію їх відмов) і внутрішній контроль їх реакції на вплив зовнішніх чинників. Фіксована реакція 12 автоматично реєструється в електронному запису. Крім того, інформація архівується журналом обслуговування системи управління, який може бути прочитаний за допомогою автоматизованих робочих місць технічного персоналу (до якого він надходить по каналу 10) або безпосередньо (дешифрування протоколів). Порівняння протоколів роботи системи з електронними звітами визначення технічного стану засобу автоматизації 20 дозволяє перевірити правильність функціонування служби протоколювання системи як невід'ємної

частини безпеки системи мікропроцесорної централізації. У відсутності автоматизації визначення технічного стану або комбінованого підходу, в якому автоматизована тільки частина процедур, представник контрольно-ревізійного апарату безпосередньо дотримується положень програми і методики визначення технічного стану 13, що імітує роботу оператором 14 відповідно до них, зміною станів датчиків і виконавчих механізмів 15 і дестабілізацією підсистеми 16 обробки робочих логічних залежностей. За допомогою оператора 14 обслуговуючий персонал взаємодіє з функцією 10, налаштуванням і тестуванням 15, 16 різні компоненти системи управління комплексом аналізується, що зафіксовано в протоколі визначення технічного стану.

У разі часткової автоматизації процесу визначення технічного стану інструмент автоматизації може використовуватися для виконання окремих етапів програми і процедури визначення технічного стану, для якої він попередньо налаштований до початку цих процедур, а також запуску і зупинки 17 під час інтерактивної взаємодії.

При повній автоматизації визначення технічного стану, навіть якщо була підтверджена адекватність діагностичних імітаційних моделей, встановлена доцільність додаткової перевірки їх результатів за допомогою контрольних випробувань.

В кінці кожного циклу визначення технічного стану проводиться порівняльний аналіз електронних, ручних протоколів 20 і архівів підсистеми реєстрації підсистеми обробки логічної залежності або тільки ручного протоколу і протоколювання архівів (при відсутності автоматизації) на основі яких підготовлений і оброблений звіт про виконання визначення технічного стану результатів з використанням стандартних методів теорії експериментального планування.

4.3 Імітаційна модель інтерактивної взаємодії персоналу і технічних засобів

Таким чином, згідно зі схемою, показаної на рисунку 4.9, система мікропроцесорної централізації повинна імітувати дві інтерфейсні лінії взаємодії з датчиками і виконавчими механізмами - віртуальними і реальними (рисунок 4.10) [137]

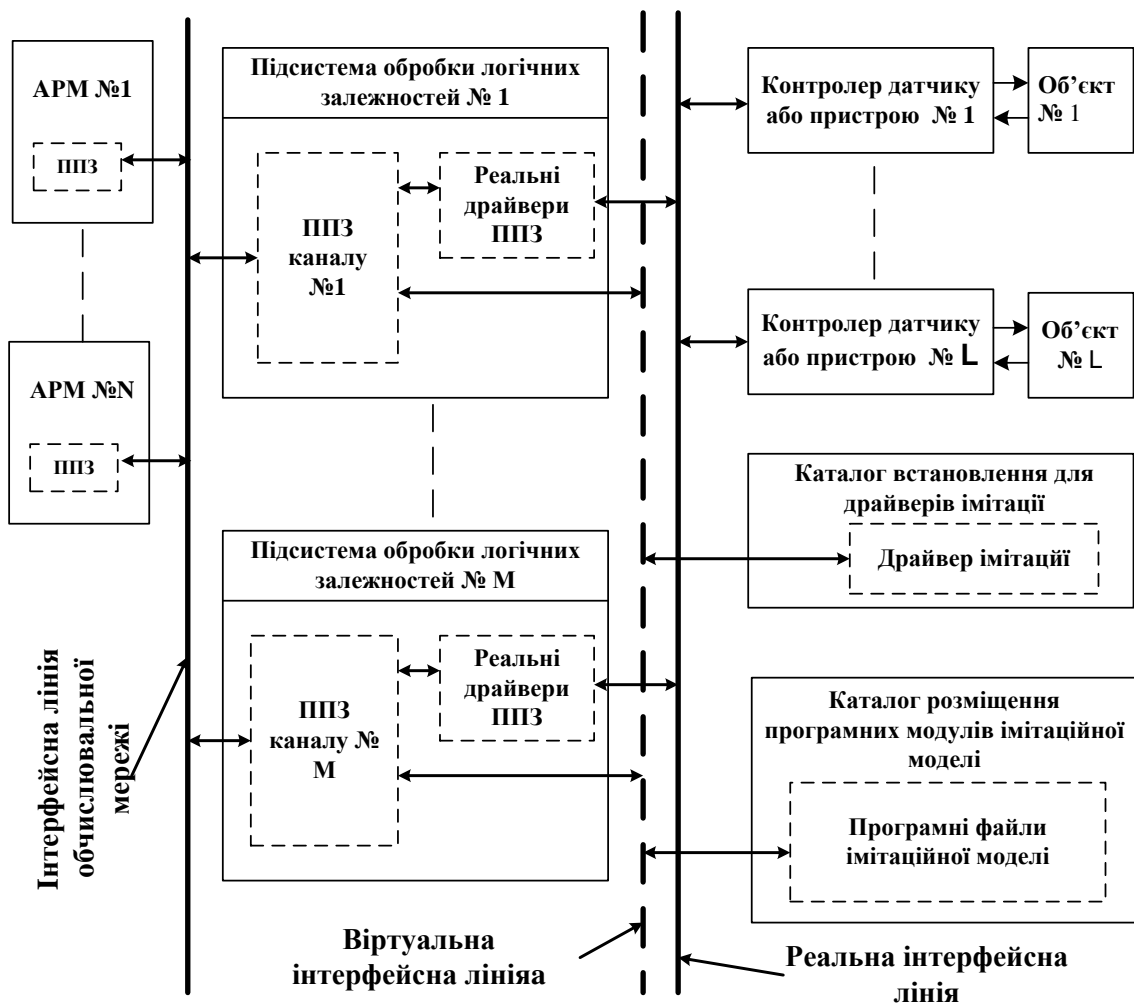


Рисунок 4.10 – Структурно-функціональна схема організації віртуальної та реальної інтерфейсних ліній в умовах інтерактивної взаємодії з персоналом

Взаємодія системи з реальними датчиками і виконавчими механізмами (або їх об'єктними контролерами) виконується на реальній лінії інтерфейсу. У той

же час тестові дії підсистеми визначення технічного стану з використанням імітаційної моделі реалізуються на лінії віртуального інтерфейсу. Прикладне програмне забезпечення (ППЗ) підсистеми для обробки логічних залежностей не розрізняє відповідні рядки (віртуальні і реальні). Таким чином, моделювання відмов в процесі визначення технічного стану виконується ідентично їх фактичному проявленню для системи.

Більш детальна схема організації віртуальної інтерфейсної лінії показана на рисунку 4.11.

Кожен інтерфейсний модуль забезпечує доступ до відповідних файлів і тек. Реалізація віртуальної лінії інтерфейсу заснована на повній ідентичності структури тимчасових файлів реальних і віртуальних інтерфейсів драйверів.

Використання даної імітаційної моделі можливо тільки після підтвердження її адекватності. В іншому випадку неможливо досягти надійних результатів визначення технічного стану в процесі інтерактивної взаємодії персоналу і технічних засобів. Тому адекватність моделі підтверджується шляхом тестування з подальшим порівнянням еталонних і фактичних результатів її функціонування. Тільки їх повний збіг гарантує адекватність імітаційного моделювання.

Критерій адекватності встановлюється як для дискретного автомата. У той же час необхідно відтворити повноту станів датчиків і виконавчих механізмів системи управління, а також всіх пов'язаних з ними технологічних ситуацій [54].

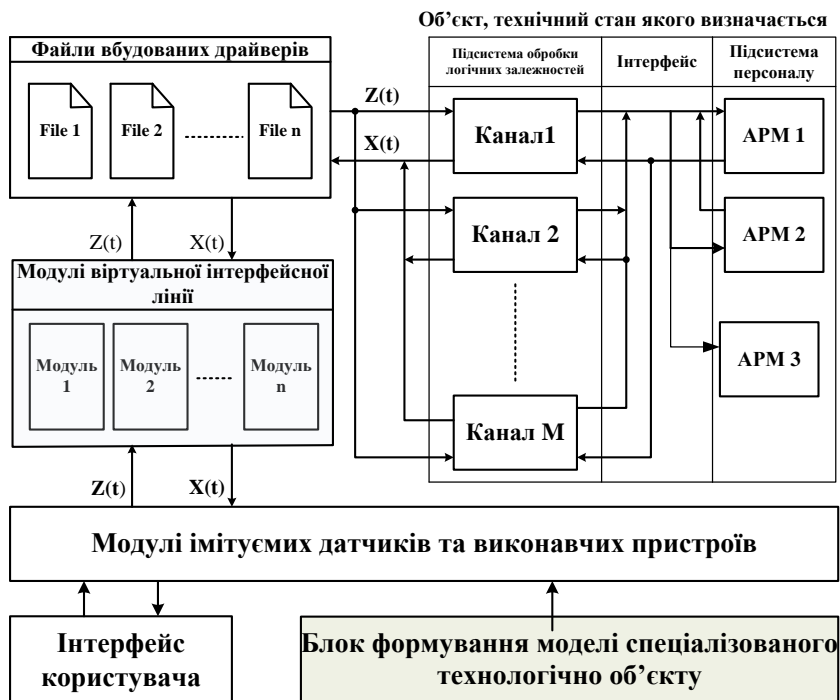


Рисунок 4.11 – Схема організації віртуальної інтерфейсної лінії

При таких умовах можливо забезпечити максимальну безпеку роботи з урахуванням впливу людського фактора не тільки в аспекті технічної експлуатації систем мікропроцесорної централізації, а також і в аспекті проведення ТО.

4.4 Визначення економічної доцільності впровадження інноваційних методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації

У сучасних ринкових умовах підвищуються вимоги до економічних вимірів і економічних обґрунтувань прийняття рішень стосовно інноваційних проектів які з'являються в результаті впровадження нових технологій.

В цілому проблема визначення економічного ефекту і вибору найбільш бажаних варіантів реалізації інновацій вимагає, з одного боку, перевищення кінцевих результатів від їхнього використання над витратами на розробку,

виготовлення і реалізацію, а з іншого - зіставлення отриманих при цьому результатів з результатами від застосування інших аналогічних за призначенням варіантів інновацій.

В більшості випадків оцінка ефективності інноваційних проектів [142] зводиться до розрахунку інтегрального ефекту або приведеної вартості, яка характеризує загальний абсолютний результат інвестиційного проекту і визначається як сума поточних ефектів за весь розрахунковий період, приведена до початкового року, або як перевищення інтегральних результатів над інтегральними витратами

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_p} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}, \quad (4.1)$$

де: NVP - чиста приведена вартість;

B_t - вигода (дохід) від проекту в t році;

C_t - витрати на проект в t році;

i - ставка дисконту;

t - кількість років циклу життя проекту.

Під інтегральним ефектом розуміється сукупний ефект, що утворюється у сфері розроблення і виробництва нової техніки з ефектом у сфері безпосереднього використання, що складається з локальних економічних ефектів (як позитивних, так і негативних) від прямого чи непрямого прояву результатів заходів і визначається

$$E_{imm} = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n, \quad (4.2)$$

де $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ – локальні економічні ефекти.

Як відомо з [142] для визначення кількісних показників, що характеризують ефективність інноваційної діяльності у сфері розробки та

виробництва, можна використовувати коефіцієнт фактичної результативності роботи, рекомендований UNIDO

$$r = \frac{R_c}{\sum_{i=1}^N Q_i - \sum_{i=1}^N (H_1 - H_2)}, \quad (4.3)$$

де R_c - сумарні витрати на закінчені роботи, що прийняті до освоєння в серійному виробництві;

Q - фактичні витрати на НДДКР за i -й рік;

N_i - кількість років аналізованого періоду;

H_1 - незавершене виробництво на початок періоду, що аналізується, у вартісному виразі;

H_2 - незавершене виробництво на кінець періоду, що аналізується.

Для розрахунку інтегрального ефекту у сфері безпосереднього використання інновацій, необхідно врахувати суттєві особливості як при впровадженні самих інновацій з одного боку так і специфіку роботи транспортної галузі.

Річний економічний ефект від впровадження комплексу інноваційних методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації - методів локалізації небезпечних подій з урахуванням інших можливих порушень, які в сукупності з виявленими можуть привести до небезпечних наслідків [143, 144] можливо розрахувати як

$$E_\phi = E - E_n \cdot (K+C), \quad (4.4)$$

де E – річна економія після впровадження комплексу методів,

$(K+C)$ – річні одноразові і поточні витрати, пов'язані з виконанням і експлуатацією засобів залізничної автоматики,

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності.

Як відомо, економічна ефективність впровадження комплексу методів визначається відношенням економічного ефекту до суми одноразових і поточних витрат [143, 144]

$$E_p = \frac{E - C}{K} \quad (4.5)$$

Доцільність впровадження можна представити умовою, коли фактично досягнутий коефіцієнт економічної ефективності не нижчий за нормативний коефіцієнт

$$E_p \geq E_n. \quad (4.6)$$

Не зважаючи на різні точки зору щодо видів ефектів від інноваційної діяльності [145–148] для підприємств транспортної галузі, з огляду на їх технологічні особливості, найбільш важливими є:

- технічний;
- ресурсний;
- економічний.

Між усіма складовими ефекту від застосування інновацій є взаємозв'язок: завдяки впровадженню у виробничий процес інноваційних технологій та технічних засобів (технічний ефект) збільшується пропускна спроможність підприємств галузі (ресурсний ефект), тим самим збільшуючи залучення висококваліфікованих працівників, перекваліфікацію власного персоналу, що в свою чергу призводить до зростання рівня зайнятості.

Але ефективність застосування інноваційних методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації оцінюється не тільки економічними показниками. Крім економічних показників досягається

ефективність, що визначається такими натуральними і якісними показниками (підвищення безпеки руху поїздів; рівня інформатизації оперативного персоналу; надійності пристроїв; якості експлуатаційної роботи з керування перевезеннями; пропускної здатності станцій і ділянок; прискорення обороту рухомого складу; зменшення інтенсивності затримки поїздів).

При застосуванні комплексу розроблених методів забезпечується максимальне скорочення задач що виконуються експлуатаційним і оперативним персоналом при порушеннях нормальної роботи систем мікропроцесорної централізації. Тим самим різко скорочується вплив людського фактора на функціонування пристроїв залізничної автоматики, забезпечується підвищення рівня безпеки руху поїздів та скорочення випадків інцидентів і втрат, пов'язаних з ними.

Відповідно [149] до ефектоутворюючих складових при розрахунку економічної ефективності впровадження відносять скорочення:

- річних експлуатаційних витрат на утримання і обслуговування пристроїв ЗА;
- річних експлуатаційних витрат, пов'язаних з відновленням пристроїв ЗА;
- збитку в поїзній роботі.

Також ефектоутворюючими складовими є такі, що пов'язані з поліпшенням умов праці:

- зростання продуктивності праці;
- зниження збитків від плинності робочої сили;
- зниження собівартості за рахунок попередження порушення безпеки руху поїздів.

Показник росту продуктивності праці може бути використаний для визначення того, якою мірою впровадження комплексу інноваційних методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації впливає на чисельність робітників і фонд заробітної плати. Показник числа вивільнених робітників може бути визначений як різниця між числом

працівників, необхідних для виконання робіт, виконуваного до впровадження (R_2) при базовому рівні продуктивності праці, і числом працівників, необхідних для виконання того ж об'єму робіт при рівні продуктивності праці, що досягається в результаті впровадження [150, 151].

Зростання продуктивності праці [143, 144] в результаті впровадження комплексу інноваційних методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації безпосередньо впливає на зниження собівартості робіт.

Визначення економії живої праці $E_{\text{жн}}$ за рахунок зниження трудомісткості в людино-годинах t на одиницю робіт після впровадження комплексу інноваційних методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації можна визначити за формулою 4.7. [150, 151]

$$E_{\text{жн}} = R_2 (t_1 - t_2) \cdot \zeta \cdot K_\zeta \cdot K_c, \quad (4.7)$$

де: ζ – середньорічна тарифна ставка основних і допоміжних робіт,

K_ζ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату,

K_c – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування.

Річна економії собівартості за рахунок скорочення плинності робочої сили і зниження у зв'язку з цим матеріального збитку в результаті поліпшення умов праці при впровадженні комплексу інноваційних методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації розраховується за формулою 4.8. [143, 144]

$$E_m = \sum_{i=1} Y_i \cdot \left(1 - \frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right) \cdot \varphi, \quad (4.8)$$

де $\sum_{i=1} Y_i$ – середньорічний збиток, що заподіюється підприємству плинністю робочої сили;

α_1 – коефіцієнт плинності робочої сили до впровадження;

α_2 – коефіцієнт плинності робочої сили після впровадження;

φ – коефіцієнт, що враховує долю працівників, що звільняються із-за незадовільної безпеки умов праці.

Також має місце зниження собівартості за рахунок попередження порушення безпеки руху поїздів і збереження у зв'язку з цим рухомого складу.

Серед основних ефектоутворюючих складових важливу роль відіграють експлуатаційні витрати, а саме витрати на поточне обслуговування обладнання; відновлення пристроїв; на поїзну роботу, пов'язану з відмовами пристроїв; на утримання оперативного персоналу за рахунок автоматизації функцій та інформатизації. Експлуатаційні витрати по господарству СЦБ відносно мало залежні від розмірів руху поїздів, тому розглядаються, головним чином, витрати на утримання і ремонт стаціонарних пристроїв.

При порівнянні експлуатаційно-технічних характеристик систем МПЦ встановлені такі фактори, що визначають економічну доцільність застосування розроблених методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорних централізацій:

- оцінювання стану об'єктів контролю та керування МПЦ;
- підвищення рівня інформаційного забезпечення оперативного персоналу;
- удосконалення існуючої технології ТО з перспективою її заміни.

Перераховані вище фактори забезпечують скорочення витрат:

- експлуатаційних витрат, пов'язаних з поїзною роботою, за рахунок скорочення відмов пристроїв, підвищення їхньої надійності;
- витрат на відновлення пристроїв залізничної атоматки за рахунок впровадження інноваційних методів ідентифікації та локалізації небезпек.

Також досягається додатковий ефект у вигляді підвищення дільничної швидкості і пропускної спроможності, прискорення обороту рухомого складу.

Як відомо з [8] процес технічного обслуговування (ТО) систем і пристроїв

ЗА містить у собі чотири групи робіт: регламентні роботи, додаткові роботи, комплексні перевірки, відновлення пристроїв після пошкодження. В загальному вигляді обсяг робіт ТО визначається кількістю і трудомісткістю окремих операцій і їхньою періодичністю виконання. Кількісну оцінку обсягу робіт з ТО на всі системи СЦБ можна подати в такому вигляді (4.9) [152]

$$Q(+)=\left(\sum_i^k \tau_{pj}\right)/t_{pj}+\sum_i^\lambda \tau_{di}+\tau_{cs}\cdot m+t_k\cdot n\rightarrow \min, \quad (4.9)$$

де τ_{pj} – нормований час виконання однієї регламентної роботи;

k – кількість виконуваних регламентних робіт;

τ_{di} – час виконання однієї додаткової роботи;

t_{pj} – періодичність i -ї регламентної роботи;

τ_{cs} – середні затрати праці на відновлення об'єкта після відмовлення;

t_k – витрати праці на капітальний ремонт;

m – кількість відмовлень;

n – кількість капітальних ремонтів за час t .

Аналіз витрат праці технічного персоналу дистанцій сигналізації та зв'язку на процес ТО показує, що в середньому має місце такий розподіл робочого часу займає: регламентні роботи 80 – 90 %, додаткові роботи – 8 – 12 %, комплексні перевірки – 3 – 5%, відновлювальні роботи – до 2 %.

Впровадження комплексу методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації зменшує кількість відмов і тривалість їхнього відновлення. За рахунок цього скорочуються простої поїздів, локомотивів і вагонів, обсяги маневрових пересувань, прискорюється оборот рухомого складу, підвищується оперативність керування перевізним процесом.

Загальна річна економія в результаті впровадження визначається за формулою 4.10 [150, 151]

$$E = E_{mn} + E_m + E_{\delta} \quad (4.10)$$

де E_{mn} – економія витрат за рахунок підвищення продуктивності праці,

E_m – економія витрат за рахунок зниження збитку від плинності робочої сили,

E_{δ} - економія витрат за рахунок порушень безпеки руху.

Як відомо з [149] вартісна оцінка результатів впровадження нових систем керування рухом поїздів (P_T) складається з економічних ефектів на стадіях життєвого циклу розробки та експлуатації систем мікропроцесорної централізації

$$P_T = P_n + P_e = \sum_{t=t_n}^{t=t_k} (P_n + P_e) \cdot \alpha t \quad (4.11)$$

Узагальнена економія експлуатаційних витрат та капітальних вкладень на стадії експлуатації систем мікропроцесорної централізації може бути визначена як

$$P_e = P_{e1} + P_{e2} + P_{e3} + P_{e4} + P_{e5} + P_{e6} + P_{e7} + P_{e8} + P_{e9} + P_{e10} + P_{e11} + P_{e12}, \quad (4.12)$$

де:

P_{e1} – економія площі службово-технічних приміщень поста ЕЦ, перегінних шаф, тощо;

P_{e2} – економія капітальних вкладень у будівництво нових будівель (враховується аналогічно P_{e1});

P_{e3} – економія заробітної плати з відрахуваннями на соціальні потреби у зв'язку із скороченням персоналу постового обладнання;

P_{e4} – економія експлуатаційних витрат за рахунок підвищення рівня безпеки руху за рахунок скорочення помилок оперативно-диспетчерського персоналу;

P_{e5} - економія від скорочення втрат в поїзній роботі за рахунок підвищення оперативності усунення відмов технічних засобів (P_{e5});

P_{e7} – економія від скорочення затримок (зупинок) поїздів перед сигналами;

P_{e8} – економія від прискорення обігу вантажних вагонів за рахунок підвищення дільничної швидкості;

P_{e9} – економія від скорочення простою вантажних вагонів на станціях;

P_{e10} – економія витрат на ремонті вантажних вагонів (враховується аналогічно P_{e8});

P_{e11} – економія витрат на ремонт локомотивів (враховується аналогічно P_{e8});

P_{e12} – економія за рахунок зниження паливно-енергетичних витрат.

При цьому суттєво важливим є наступне:

- показники P_{e1} , P_{e2} та P_{e6} враховані на попередніх етапах життєвого циклу, тому в розрахунку вартісної оцінки участі не беруть;
- показник P_{e3} враховується у розрахунках для будь-яких систем та пристроїв, для яких у відповідності до Інструкції з технічного обслуговування пристроїв СЦБ встановлені періодичність та строки згідно з графіком технологічного процесу обслуговування;
- показник P_{e5} враховується у системах, які мають засоби діагностики і вбудованої самодіагностики із веденням бази даних стану системи та зовнішніх виконавчих пристроїв і веденням журналу подій.

Для розрахунку економічної ефективності впровадження комплексу розроблених методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації на етапі експлуатації розглянуто основні показники структурного підрозділу дистанція сигналізації та зв'язку Регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Українська Залізниця» за 2015 – 2019 роки.

Поелементним аналізом складових що впливають на досягнення економічної ефективності встановлено що найбільшу вагу має показник:

P_{e5} - економія від скорочення втрат в поїзній роботі за рахунок підвищення оперативності усунення відмов технічних засобів що визначається як:

$$P_{e5} = e_{відм} \cdot \alpha_{відм}, \quad (4.4.13)$$

де $e_{відм}$ - додаткові витрати залізниці у зв'язку з погіршенням показників використання рухомого складу через відмови технічних засобів за рік, грн.;

$\alpha_{відм}$ - коефіцієнт зниження даного виду втрат за рахунок підвищення оперативності усунення відмов технічних засобів.

Застосування комплексу розроблених методів оперативної ідентифікації та локалізації небезпечних подій - методу локалізації небезпечних подій з урахуванням інших можливих порушень, які в сукупності з виявленим можуть привести до небезпечних наслідків дозволяє: зменшити на 7,4 % витрати часу на пошук ушкоджень технічним персоналом; збільшити на 6,9 % ймовірність виявлення та послідууючої локалізації небезпечних подій в цифрових системах керування рухом поїздів; на 3,2% зменшити кількість порушень які віднесені до господарств сигналізації та зв'язку.

З моменту впровадження практичних результатів дисертаційної роботи, за статистичними даними, спостерігається зменшення інтенсивності затримки поїздів $\lambda_{затр}$ з $\lambda_{затр2015} = 0,00706$ до $\lambda_{затр2019} = 0,00542$, що пов'язано зі зменшенням відмов пристроїв СЦБ на 13,9 % за рахунок оперативного їх виявлення та своєчасної локалізації.

Економічний ефект від впровадження комплексу розроблених методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації складає 181973 грн

4.5 Висновки до розділу 4

1. Запропоновано та обґрунтовано застосування методів оцінки ризику: Марківського аналізу, метод «Технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності» (RCM) та Аналіз впливу людського фактора (HRA) для аналізу та контролю технічних засобів та фактичних дій персоналу при проведенні планових та позапланових робіт з ТО.

2. За рахунок використання методу Марківського аналізу отримана можливість сформувати базу даних про інтенсивності відмов компонентів систем мікропроцесорної централізації де кожна інтенсивність розглядається не як константа, а як функція що збільшується за експоненціальним законом з урахуванням початкових станів інтенсивностей відмов компонентів та параметрів їх мінливостей.

3. 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 визначення передвідмовних станів.

4. Запропоновано використовувати отримані залежності в технології обслуговування окремих вузлів та елементів систем мікропроцесорної централізації (включаючи схеми управління елементами топології станції) що дозволить прогнозування передвідмовних станів при яких необхідно виконувати регламентні роботи для забезпечення відповідного рівня безпеки та безвідмовності, тобто перейти до технології обслуговування по стану.

5. Розроблена структура міжмодульної взаємодії компонентів моделі визначення технічного стану системи мікропроцесорної централізації що дозволяє організацію об'єктивного контролю інтерактивної взаємодії персоналу і обладнання.

6. Розроблена структурно-функціональна схема організації віртуальної та реальної інтерфейсних ліній в умовах інтерактивної взаємодії з персоналом для організації роботи підсистеми визначення технічного стану, де взаємодія системи з реальними датчиками і виконавчими механізмами (або їх об'єктними контролерами) виконується на реальній лінії інтерфейсу а у той же час тестові дії підсистеми визначення технічного стану з використанням імітаційної моделі реалізуються на лінії віртуального інтерфейсу. Тобто, моделювання відмов в процесі технічної діагностики виконується ідентично їх фактичному проявленню для системи мікропроцесорної централізації.

7. Адекватність моделі підтверджуєна шляхом тестування з подальшим порівнянням еталонних і фактичних результатів її функціонування і тільки їх повний збіг гарантує адекватність імітаційного моделювання.

8. Визначенна економічна доцільності впровадження інноваційних методів ідентифікації та локалізації небезпек систем мікропроцесорної централізації

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вирішено актуальну науково-прикладну задачу, суть якої полягає в удосконаленні технічної експлуатації системи мікропроцесорної централізації шляхом оперативного виявлення порушень на більш ранній стадії, зменшенні витрат часу на пошук та локалізацію пошкоджень з урахуванням їх технічного обслуговування.

1. 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, у той час як усі відомі методи тільки фіксують появу пошкодження технічних засобів чи помилки персоналу.

2. Розроблено процедуру інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів, яка забезпечує розширення функційних можливостей та підвищення функційної безпечності системи мікропроцесорної централізації за рахунок ідентифікації та подальшого блокування безпеки.

3. Вдосконалено модель визначення ризику появи 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.

4. Вдосконалено 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.

5. Вдосконалено метод порівняльного 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 окремих її компонентів.

6. Сформовано базовий інструмент для уніфікованого конфігурування ППЗ за рахунок використання моделі 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 безпеки, або небезпеки, для конкретного маршруту на основі статистичних даних про параметри відмов об'єктів керування, які входять до нього.

7. Проведено імплементацію та практичну апробацію розроблених методів і моделей визначення небезпечних станів у системах мікропроцесорної централізації, а саме:

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

- 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 визначення передвідмовних станів.

8. Застосування комплексу розроблених методів оперативної ідентифікації та локалізації небезпечних подій з урахуванням інших можливих порушень, які в сукупності з виявленими можуть призвести до небезпечних наслідків, дозволяє: зменшити на 7,4 % витрати часу на пошук пошкоджень

технічним персоналом; збільшити на 6,9 % ймовірність виявлення та подальшої локалізації небезпечних подій; зменшити на 3,2 % кількість порушень, які віднесені до господарств сигналізації та зв'язку.

З моменту впровадження практичних результатів дисертаційної роботи, за статистичними даними, спостерігається зменшення інтенсивності затримки поїздів $\lambda_{\text{затр}}$ з $\lambda_{\text{затр}2015} = 0,00706$ до $\lambda_{\text{затр}2019} = 0,00542$, що пов'язано зі зменшенням відмов пристроїв СЦБ на 13,9 % за рахунок оперативного їх виявлення та своєчасної локалізації.

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/publichnyy-zvit-golovy-derzhavnoyisluzhby-ukrayiny-z-bezpeky-na-transporti-myhayla-nonyaka>. (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. Мойсеенко В.И., Поета 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. Мойсеенко 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., Мойсеенко 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, ІДТ). 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 доказательств 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. Мойсеенко, В.І., Чегодаев 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. 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 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://swwsys-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. Edition 3.0 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.

Додаток А

Розрахунок достовірності оцінювання технічного стану
мікропроцесорної апаратури станційної централізації

Встановлення початкового індексу елементів матриць (масивів)

вагових параметрів спостережень та процента бракованих ПЛК: $\text{ORIGIN} := 1$

Задання матриці вагових параметрів спостережень:

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \\ m_{51} & m_{52} & m_{53} & m_{54} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 3 & 1 & 4 & 2 \\ 2 & 1 & 3 & 1 \\ 4 & 2 & 4 & 2 \\ 4 & 1 & 4 & 4 \\ 2 & 3 & 3 & 2 \end{pmatrix}$$

Задання матриці процента бракованих ПЛК:

$$\begin{pmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} & \omega_{14} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} & \omega_{24} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} & \omega_{34} \\ \omega_{41} & \omega_{42} & \omega_{43} & \omega_{44} \\ \omega_{51} & \omega_{52} & \omega_{53} & \omega_{54} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 5 & 1 \\ 4 & 4 & 1 & 3 \\ 5 & 3 & 7 & 6 \\ 5 & 5 & 5 & 9 \\ 1 & 2 & 1 & 5 \end{pmatrix}$$

Нумерація типу ПЛК: $j := 1..5$ Нумерація дослідної станції: $h := 1..4$

Масив вагових параметрів результатів спостережень:

$$m := \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \\ m_{51} & m_{52} & m_{53} & m_{54} \end{pmatrix}$$

Масив процента бракованих ПЛК:

$$\omega := \begin{pmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} & \omega_{14} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} & \omega_{24} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} & \omega_{34} \\ \omega_{41} & \omega_{42} & \omega_{43} & \omega_{44} \\ \omega_{51} & \omega_{52} & \omega_{53} & \omega_{54} \end{pmatrix}$$

Коефіцієнт $\kappa := 4 - 1 \quad \kappa = 3$
Стьюдента:

Параметр ω_{cp} для різних ПЛК ($j=1,2,3,4,5$):

$$\omega_{cp}(j) := \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} \left[m_{j,h} \cdot \left(\omega_{j,h} - \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{j,h}}{\kappa+1} \right) \right]}{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{j,h}} + \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{j,h}}{\kappa+1}$$

$\omega_{cp}(j) =$

2.6
2.571
5.5
6.231
2.1

Параметр scp для різних ПЛК ($j=1,2,3,4,5$):

$$scp(j) := \sqrt{\frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} \left[m_{j,h} \cdot \left(\omega_{j,h} - \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{j,h}}{\kappa+1} \right)^2 \right] - \frac{\left[\sum_{h=1}^{\kappa+1} \left(\omega_{j,h} - \frac{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{j,h}}{\kappa+1} \right) \right]^2}{\sum_{h=1}^{\kappa+1} m_{j,h}}}{\kappa \cdot (\kappa + 1)}}$$

$scp(j) =$

1.782
1.113
2.758
3.541
1.426

Обране значення tr : $tr_j :=$

3
3
5

$$\omega_{\max}(j) := 2 \cdot (\omega_{\text{ср}}(j) + t_{p_j} \cdot \text{ср}(j)) \quad \omega_{\min}(j) := 2 \cdot (\omega_{\text{ср}}(j) - t_{p_j} \cdot \text{ср}(j))$$

$$\omega_{\max}(j) =$$

15.891
11.821
38.576
12.462
4.2

$$\omega_{\min}(j) =$$

-5.491
-1.535
-16.576
12.462
4.2

Значення інтеграла

Стьюдента для
різних ПЛК:

$$S_j :=$$

0.942
0.942
0.985

Ймовірність

$$P(\omega < \omega_{\max}): P_{\omega_{\max}}(j) := S_j$$

$$P(j) := \left(1 - \frac{\omega_{\max}(j)}{100}\right) \cdot P_{\omega_{\max}}(j) \quad P\%(j) := \left(1 - \frac{\omega_{\max}(j)}{100}\right) \cdot P_{\omega_{\max}}(j) \cdot 10\%$$

$$P(j) =$$

0.792
0.831
0.605
0
0

для ПЛКСВ
для ПЛКСТ
для ПЛКРД

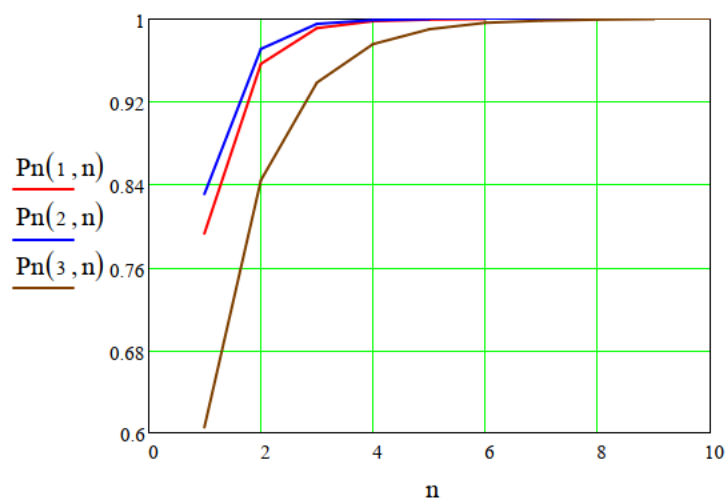
$$P\%(j) =$$

79.231
83.065
60.503
0
0

для ПЛКСВ
для ПЛКСТ
для ПЛКРД

$$k := 1..10 \quad n := 1, 2..10$$

$$P_n(j, n) := \sum_{l=1}^n \left[(-1)^{l+1} \cdot \frac{n! \cdot P(j)^l}{l! (n-l)!} \right]$$



Залежність достовірності від кількості циклів випробувань

$$l := 1..30 \quad i := 1, 2..10$$

$$n_l := 1 \quad p_i := \frac{i}{10}$$

$$P_{n_l, i} := \sum_{l=1}^{n_l} \left[(-1)^{l+1} \cdot \frac{n_l! \cdot (p_i)^l}{l! \cdot (n_l - l)!} \right]$$

ДОДАТОК Б

Рзрахунок показників функціональної безпеки та безвідмовності МПЦ що досліджується

Система мікропроцесорної централізації, що досліджується, структурно складається з верхнього, середнього і нижнього рівня.

Верхній рівень складається з резервованих автоматизованих робочих місць чергового по станції (АРМ ДСП) і автоматизованих робочих місць електромеханіка (АРМ ШН).

Середній рівень комплексу складається з двоканального ПЛК з гарячим резервуванням логіки кожного каналу, двоканального ОКСС з гарячим резервуванням логіки кожного каналу і обладнання релейно-контактного інтерфейсу з виконавчими пристроями. Устаткування релейно-контактного інтерфейсу входить до складу схем керування стрілок і світлофорів. Крім цього до складу середнього рівня входять діагностичні пристрої.

Нижній рівень включає в себе напільне обладнання - стрілки, світлофори, рейкові кола або система підрахунку осей, апаратуру переїзної сигналізації.

До елементів МПЦ, які відповідають за безпеку, відносяться технічні засоби середнього рівня, який складається з наступних технічних засобів:

- ПЛК - монтажна корзина; процесорний модуль; модулі живлення, зв'язку виведення, введення;

- ОКСС - монтажна корзина, процесорний модуль, модулі живлення, зв'язку, виведення, введення.

- реле I класу надійності, використовується для ув'язки із суміжними системами (ЕЦ, АБ, НАБ, АПС та ін.), якщо суміжна система релейного типу.

Усі технічні засоби МПЦ об'єднані в єдину резервовану мережу. Усі дані між будь-якими двома вузлами паралельно передаються по обох мережах. Двоканальний ПЛК та ОКСС складаються з двох каналів (канали А і В, канали ОКСС1 та ОКСС2 відповідно).

Безпека схеми управління стрілочним електроприводом забезпечується за рахунок: двоканального з резервом управління комутаційними пристроями, діагностики пристроїв та контролю наявності струму в колах керування.

Безпека схеми керування світлофором забезпечується за рахунок: двоканального управління і контролю комутаційних пристроїв, двополусної комутації ламп світлофора, діагностики комутаційних пристроїв.

Для визначення видів поодиноких несправностей основних елементів МПЦ, що відповідають за безпеку, використовується метод аналізу видів і наслідків відмов (FMEA).

Вихідні дані по середньому наробітку на відмову модулів ПЛК та ОКСС, блоків схем стрілок і світлофорів, а також склад обладнання для кожного обчислювального каналу взяті з технічних паспортів обладнання, які надані підприємствами-виробниками.

Для кількісної та якісної оцінки надійності (безвідмовності) і безпечного функціонування, при відмовах технічних засобів залізничної автоматики використовуються аналітичні методи.

Згідно з визначенням показників надійності та функційної безпеки розрахунок виконується з урахуванням того, що час безвідмовної (безпечної) роботи підпорядковується експоненціальном розподілу, тобто ймовірність безвідмовної або безпечної роботи.

Так як ПЛК та ОКСС здійснюють управління кінцевими об'єктами МПЦ відмови цих елементів мають можливість привести до небезпечної відмови.

Для розрахунку показників функціональної безпеки (ФБ) МПЦ розробляються розрахунково-логічні схем (РЛС ФБ), спрощений приклад якої подано на рисунку 1.

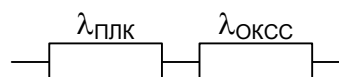


Рисунок 1 Узагальнена РЛС ФБ

Розрахунково – логічні схеми розробляються як для системи в цілому так і для елементів або окремих складових вузлів. Використовуючи РЛС ФБ розраховуються загальні показники функційної безпечності МПЩ, в тому числі і інтенсивність небезпечних відмов λ .

При розрахунку показників безпеки ПЛК враховуються локальні (основний та резервний) та віддалені корзини каналів А і В з модулями. ПЛК що є ІКС з побудовою за принципом «2 із 2-х», а також додаткової контролери разом із модулями звязку що резервуються.

Набір модулів в локальних корзинах каналів А і В однаковий, тому для них складається одна РЛС ФБ але для віддалених корзин каналів А і В використовуються різні РЛС ФБ, так як в даних корзинах встановлені модулі вводу / виводу різних типів. Також у віддалених корзинах використовуються резервуються блоки живлення.

Виходячи з наведеного вище та вихідних даних з напрацювання на відмову використовуваних елементів отримано результати розрахунків функціональної безпеки ПЛК:

- показники безпеки ($P_{\bar{b}}(t)$, $Q_{неб}(t)$) кожної локальної корзини ПЛК

$$P_{\bar{b}_{_A_ЛОК_ОСН}}(t) = 0,99999993 ;$$

$$Q_{неб_{_A_ЛОК_ОСН}}(t) = 0,00000007 .$$

- показники безпеки віддаленої корзини каналу А:

$$P_{\bar{b}_{_A}}(t) = 0,99999987 ;$$

$$Q_{неб_{_A}}(t) = 0,00000013 .$$

- показники безпеки віддаленої корзини каналу В:

$$P_{\bar{b}_{_B}}(t) = 0,99999989 ;$$

$$Q_{неб_{_B}}(t) = 0,00000011 .$$

- показники безпеки каналу А:

$$P_{\bar{o}_A}(t) = 0,99999987;$$

$$Q_{неб_A}(t) = 0,00000013.$$

- показники безпеки каналу В:

$$P_{\bar{o}_B}(t) = 0,99999989;$$

$$Q_{неб_B}(t) = 0,00000011.$$

- показники безпеки ПЛК:

$$Q_{неб_ПЛК}(t) = Q_{неб_A}(t) * Q_{неб_B}(t);$$

$$P_{\bar{o}_ПЛК}(t) = 0,999999999999986;$$

$$Q_{неб_ПЛК}(t) = 0,000000000000014.$$

Результати розрахунків зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків показників функційної безпеки ПЛК

	$P_{\bar{o}}(t)$	$Q_{неб}(t)$
Локальна корзина ПЛК	0,99999993	0,00000007
Віддалена корзина каналу А	0,99999987	0,00000013
Віддалена корзина каналу В	0,99999989	0,00000011
Канал А	0,99999987	0,00000013
Канал В	0,99999989	0,00000011
ПЛК	0,999999999999986	0,000000000000014

Так як об'єктом дослідження є МПЦ в якій ОКСС мають 2 канали з резервуванням що функціонують за принципом «2 з 4» узагальнена розрахунково-логічна схема безпеки ОКСС складається з локальних корзин ОКСС1о, ОКСС2о, ОКСС1р, ОКСС2р, схеми стрілки з резервованою схемою і схеми світлофора.

Набір модулів в локальних корзинах каналів ОКСС1о і ОКСС1р; ОКСС2о і ОКСС2р є однаковим.

Таким чином отримані результати розрахунків показників безпеки ОКСС складають:

- показники безпеки локальних корзин ОКСС:

$$P_{\bar{\sigma}_{OKCC1o}}(t) = 0,99999994;$$

$$Q_{неб_{OKCC1o}}(t) = 0,00000006;$$

$$P_{\bar{\sigma}_{OKCC2o}}(t) = 0,99999994;$$

$$Q_{неб_{OKCC2o}}(t) = 0,00000006;$$

- показники безпеки схеми керування стрілкою:

$$P_{\bar{\sigma}_{СТР}}(t) = 0,999999924;$$

$$Q_{неб_{СТР}}(t) = 0,000000076.$$

- показники безпеки схеми керування світлофором:

$$P_{\bar{\sigma}_{СВ}}(t) = 0,9999999999999999057;$$

$$Q_{неб_{СВ}}(t) = 0,000000000000000000943.$$

- показники безпеки ОКСС:

$$P_{\bar{\sigma}_{OKCC}}(t) = 0,9999999999999994;$$

$$Q_{неб_{OKCC}}(t) = 0,0000000000000006.$$

Результати розрахунків зведені в таблицю 2.

Згідно РЛС ФБ що приведена на рисунку 1 загальні показники безпечності МПЦ що досліджувалась розраховуються за формулами:

$$P_{\bar{\sigma}}(t) = P_{\bar{\sigma}_{ПЛК}}(t) * P_{\bar{\sigma}_{OKCC}}(t);$$

$$P_{\bar{\sigma}}(t) = 0,999999999999998;$$

$$Q_{неб}(t) = 0,000000000000002.$$

Відповідно інтенсивність небезпечних відмов складає

$$\lambda_{неб}(t) = 0,0000000000012 = 1,2 * 10^{-12} \text{ 1/ч,}$$

що значно нижче максимально припустимого значення ($1,8 * 10^{-7}$ 1/Год).

Таблиця 2 – Результати розрахунків показників безпеки ОКСС

	$P_{\sigma}(t)$	$Q_{неб}(t)$
Локальна корзина ОКСС	0,9999994	0,0000006
Схема керування стрілкою	0,999999924	0,000000076
Схема керування світлофором	0,9999999999999999057	0,00000000000000000943
ОКСС	0,999999999999994	0,000000000000006

Для розрахунку показників безвідмовності МПЦ, що досліджується, також розроблена узагальнена розрахунково – логічна схема безвідмовності (РЛС Б) що наведена на рисунку 2.

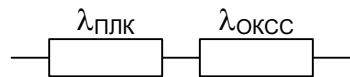


Рисунок 2. – Узагальнена РЛС Б

При розрахунках враховуємо що:

- набір модулів в локальних корзинах каналів А та В однаковий;
- у віддалених корзинах встановлені модулі вводу/виводу різних типів та використовуються блоки живлення що мають резервування.

Виходячи з розроблених РЛС та вихідних даних з напрацювання на відмову використовуваних елементів проведений розрахунок та отримані результати показників безвідмовності ПЛК (таблиця 3):

- показники безвідмовності ($P(t)$, $Q(t)$) кожної локальної корзини кожного ПЛК:

$$P_{\bar{\sigma}_A_ЛОК_ОСН}(t) = 0,99999993 ;$$

$$Q_{неб_A_ЛОК_ОСН}(t) = 0,00000007 .$$

- показники безвідмовності віддаленої корзини каналу А:

$$P_{A_вiдд}(t) = 0,99999987 ;$$

$$Q_{A_вiдд}(t) = 0,00000013 .$$

- показники безвідмовності віддаленої корзини каналу В:

$$P_{B_вiдд}(t) = 0,99999989 ;$$

$$Q_{B_вiдд}(t) = 0,00000011 .$$

- показники безвідмовності каналу А:

$$P_A(t) = (1 - Q_{A_ЛОК}^2(t)) * P_{A_вiдд}(t) ;$$

$$P_A(t) = 0,99999987 ;$$

$$Q_A(t) = 0,00000013 .$$

- показники безвідмовності каналу В:

$$P_B(t) = (1 - Q_{B_ЛОК}^2(t)) * P_{B_вiдд}(t) ;$$

$$P_B(t) = 0,99999989 ;$$

$$Q_B(t) = 0,00000011 .$$

- показники безвідмовності ПЛК:

$$P_{ПЛК}(t) = P_A(t) * P_B(t) ;$$

$$P_{ПЛК}(t) = 0,99999976 ;$$

$$Q_{ПЛК}(t) = 0,00000024 .$$

Таблиця 3 – Результати розрахунків показників безвідмовності ПЛК

	$P_{\bar{o}}(t)$	$Q_{не\bar{o}}(t)$
Локальна корзина ПЛК	0,99999993	0,00000007
Віддалена корзина каналу А	0,99999987	0,00000013
Віддалена корзина каналу В	0,99999989	0,00000011
Канал А	0,99999987	0,00000013
Канал В	0,99999989	0,00000011
ПЛК	0,99999976	0,00000024

Для розрахунку показників безвідмовності ОКСС враховуємо що:

- ОКСС має 2 канали з резервуванням, які функціонують за принципом «2 з 4» та її узагальнена РЛС Б складається з локальних корзин ОКСС1о, ОКСС2о, ОКСС1р, ОКСС2р, схеми стрілки з резервної схемою і схеми світлофора. Отримані результати розрахунків (таблиця 4):

– показники безвідмовності локальних корзин ОКСС:

$$P_{ОКСС1о}(t) = 0,99999943;$$

$$Q_{ОКСС1о}(t) = 0,00000057;$$

$$P_{ОКСС2о}(t) = 0,9999994;$$

$$Q_{ОКСС2о}(t) = 0,0000006;$$

$$P_{ОКСС_ЛОК}(t) = 0,99999999999325;$$

$$Q_{ОКСС_ЛОК}(t) = 0,000000000000675.$$

– показники безвідмовності схеми керування стрілкою:

$$P_{СТР}(t) = 0,999999923;$$

$$Q_{СТР}(t) = 0,000000077.$$

– показники безвідмовності схеми керування світлофором:

$$P_{СВ}(t) = 0,99999995235;$$

$$Q_{СВ}(t) = 0,00000004765.$$

– показники безвідмовності ОКСС:

$$P_{ОКСС}(t) = 0,999999952;$$

$$Q_{ОКСС}(t) = 0,000000048.$$

Результати розрахунків зведені в таблицю 4.

Таблиця 4 – Результати розрахунків показників безвідмовності ОКСС

	$P_{\bar{o}}(t)$	$Q_{не\bar{o}}(t)$
Локальна корзина ОКСС	0,999999999999325	0,000000000000675
Схема керування стрілкою	0,999999923	0,000000077
Схема керування світлофором	0,99999995325	0,00000004765
ОКСС	0,999999952	0,000000048

Таким чином загальні показники безвідмовності МПЦ, що досліджується, розраховуються по формулі (1) та складають:

$$P(t) = P_{ПЛК}(t) * P_{ОКСС}(t). \quad (1)$$

$$P(t) = 0,999999711;$$

$$Q(t) = 0,000000289.$$

Відповідно інтенсивність захисних відмов МПЦ, що досліджується:

$$\lambda(t) = 0,0000173 = 1,73 * 10^{-5} \text{ 1/год},$$

що нижче максимально припустимого значення ($35 * 10^{-5}$ 1/год).

Далі сформована база даних про інтенсивності відмов компонентів системи, де кожна інтенсивність розглядається не як константа, а як функція що збільшується за експоненціальним законом, з урахуванням початкових станів інтенсивностей відмов компонентів та параметрів їх мінливостей. Відповідним чином формується багатовимірний функціонал надійності або безпечності що

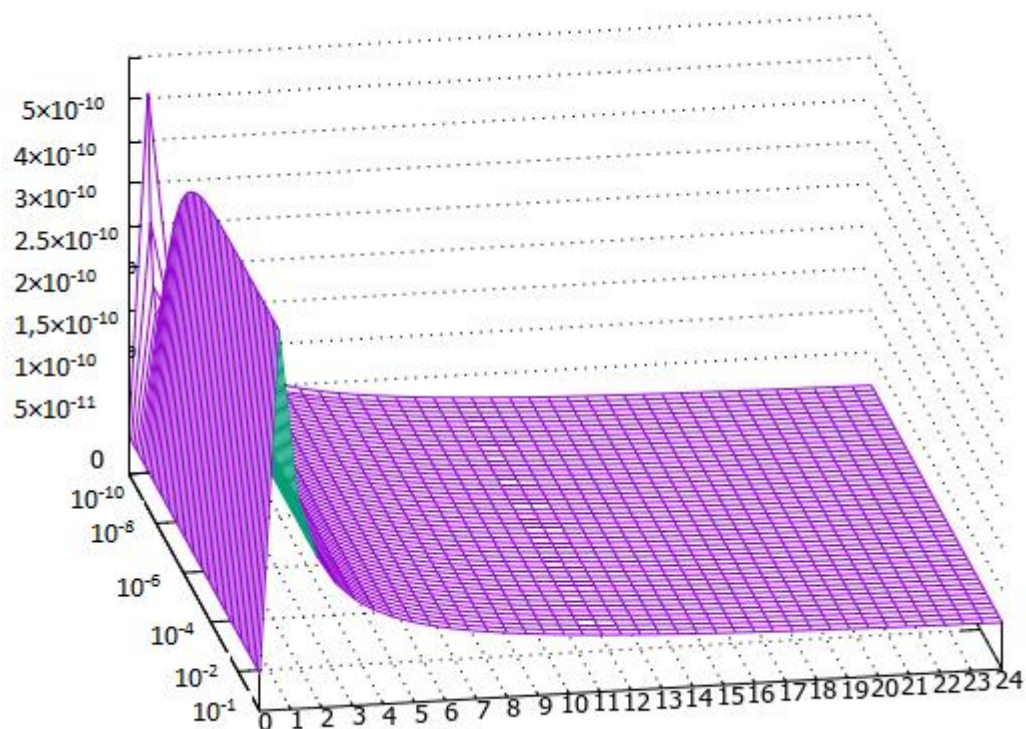
дозволяє прогнозувати стан МПЦ в різних часових точках з урахуванням параметрів зношення елементів.

Багатовимірні моделі, які враховують мінливості інтенсивностей відмов компонентів системи, отримуються за допомогою пакету прикладних програм математичного моделювання MATLAB 6.0.

$t := x$

$\lambda := y$

$$Q_{i\alpha\alpha}(t, \lambda) := \frac{(1 - \lambda \cdot e^{-t \cdot \lambda})}{\lambda}$$



Додаток В

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:*Наукові праці у фахових виданнях України:*

1. 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.

2. 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

3. 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

Публікації у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

4. 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)

Публікації у виданнях інших держав:

5. 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.

6. 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).

7. 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

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

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. Мойсеєнко В. И., Каменев А. Ю., Гаєвський 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. Развитие 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.*

Відомості про апробацію результатів дисертації:

1. 29-а МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Чорноморськ, 27 – 29 вересня 2016 р.) (очна участь);

2. X Міжнародна науково-практична конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості і освіті» (Дніпро, 14–15 грудня 2016 р.) (заочна участь);

3. 79-а МНТК «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»(Харків, квітень 2017) (очна участь);

4. V International Scientific and Technical Conference «Engineering. Technologies. Education. Security’2017» (Veliko Tarnovo, Bulgaria, 31 May – 03 June 2017) (заочна участь);

5. VII міжнародна залізнична конференція UARAIL & PARTNERS «Інфраструктура та рухомий склад» (Харків, 04-09 вересня 2017 р.) (очна участь);

6. 30 - та міжнародна науково-практична конференція «Впровадження перспективних мікропроцесорних систем залізничної автоматики та засобів телекомунікації на базі цифровізації» (Одеса, 27-28 вересня 2017 р.) (очна участь);

7. I міжнародна НПК Академії технічних наук України (Івано-Франківськ, 3-5 квітня 2017 р.) (заочна участь);

8. 30 - та міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 26-27 жовтня 2017р.) (очна участь);

9. II МНІПК «Прикладні науково-технічні дослідження» (Івано-Франківськ, 3-5 квітня 2018 р.) (заочна участь);
10. 31-а міжнародна науково-практична конференція "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (Харків, квітень 2018р.) (очна участь);
11. 31-а міжнародна науково – практична конференція «Впровадження перспективних мікропроцесорних систем залізничної автоматики та засобів телекомунікації на базі цифровізації» (Харків, 27-28 вересня 2018 р.) (очна участь);
12. II міжнародна конференція «Інжиніринг та устаткування залізниць» (Київ, 16-18 жовтня 2018 р.) (очна участь);
13. III міжнародна конференція «Інжиніринг та устаткування залізниць» (Київ, 16-18 жовтня 2019 р.) (очна участь);
14. 32-а міжнародна науково-практична конференція "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (Харків, жовтень 2019р.) (очна участь);
15. 33-я міжнародна науково-практична конференція "Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті" (Харків, жовтень 2020 р.) (очна участь).

Додаток Г
Акти впровадження



ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ТОВ «КИЇВМЕТРОПРОЕКТ»

Шаповал Є.М.

"11" лютого 2021р.

Акт

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Гаєвського Віталія Вікторовича
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.22.20

Цей акт складений комісією в складі:

Голова комісії – заступник головного інженера ТОВ «КИЇВМЕТРОПРОЕКТ»
Хавін О.Б.

Член комісії – начальник відділу автоматики, телемеханіки та зв'язку
ТОВ «КИЇВМЕТРОПРОЕКТ» Щербеха В.Г.

Комісія вивчила матеріали результатів досліджень методів та моделей оперативної ідентифікації, оцінювання та локалізації небезпечних станів систем мікропроцесорної централізації проведених здобувачем кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Українського державного університету залізничного транспорту Гаєвським В.В. і зазначає наступне:

1. Сформований 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 і забезпечує визначення передвідмовних станів, використаний при розробленні технічних рішень проектної документації «Будівництво дільниці 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.*

Застосування розроблених методів дозволяє:

- зменшити на 7,4 % витрати часу на пошук ушкоджень технічним персоналом;

- збільшити на 6,9 % ймовірність виявлення та послідууючої локалізації небезпечних подій в системі мікропроцесорної централізації;

Загальний економічний ефект від впровадження складає 61573 грн.

Голова комісії:

Хавін О.Б.

Члени комісії:

Щербеха В.Г.

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Начальник Служби сигналізації
 СКП «Київський метрополітен»
 Чевичелов О.Ю.
 «05» _____ 2020 г.



АКТ
 про впровадження результатів дисертаційної роботи
 Гаєвського Віталія Вікторовича
 поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
 спеціальністю 05.22.20

Цей акт складений комісією в складі:

Голова комісії:

Заступник начальника служби сигналізації Оніщук С.М

Члени комісії:

Заступник начальника дистанції сигналізації Родіна С.А

Провідний інженер Резницький Д.М

Комісія вивчила матеріали результатів досліджень методів та моделей оперативної ідентифікації, оцінювання та локалізації небезпечних станів систем керування рухом поїздів проведених здобувачем кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Українського державного університету залізничного транспорту Гаєвським В.В., і зазначає наступне:

1. Сформований базовий інструмент для уніфікованого конфігурування ПЗ за рахунок використання моделі 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 безпеки, або небезпеки, для конкретного маршруту на основі статистичних даних про параметри відмов об'єктів керування, які входять до нього та

2. Розроблений метод інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів, що забезпечує розширення функційних можливостей та підвищення функційної безпечності системи мікропроцесорної централізації за рахунок ідентифікації та наступного блокування небезпеки,

використане при реалізації проекту «Устаткування електричне, сигналізаційне, убезпечувальне для регулювання руху на залізницях, трамвайних коліях, автомобільних дорогах, внутрішніх водних шляхах, майданчиках для паркування, портових спорудах та летовищах» код 27.907 згідно з ДК 016-2010 (код 39162000 – 5 згідно з ДК 021-2015 – приладдя для навчальних закладів) (навчально – тренувальний комплекс керування рухом поїздів) *Договір з Комунальним Підприємством «Київський Метрополітен» № 933 – Ш – 16 від 26.12.2016 року.*

Застосування комплексу розроблених методів та моделей дозволяє:

- зменшити на 7,4 % витрати часу на пошук ушкоджень технічним персоналом;
- збільшити на 6,9 % ймовірність виявлення та послідууючої локалізації небезпечних подій в цифрових системах керування рухом поїздів.

Загальний економічний ефект від впровадження складає 57329,30 грн.

Голова комісії:

Члени комісії:



Оніщук С.М

Родіна С.А

Резницький Д.М



ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор
ТОВ «НВО «Залізничавтоматика»

Кузьменко Д.М.

23 Вересня 2020 г.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Гаєвського Віталія Вікторовича
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю
05.22.20

Цей акт складений комісією в складі:
Голова комісії:
Директор комерційний Васюхно А.В.
Члени комісії:
Заступник директора Полянська В.О.
Начальник дільниці Лихольот М.М.

Комісія вивчила матеріали результатів досліджень методів та моделей оперативної ідентифікації, оцінювання та локалізації небезпечних станів систем мікропроцесорної централізації проведених здобувачем кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Українського державного університету залізничного транспорту Гаєвським В.В., і зазначає наступне:

1. Метод забезпечення безпеки функціонування системи, 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;

2. 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;

3. 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, використовуються при реалізації проектів:

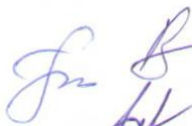

- «Послуги зі встановлення комп'ютерної техніки та обладнання для обробки інформації 51610000-1 (Послуги із заміни обладнання автоматизованої системи управління інженерно-технічних пристроїв Холодногірсько-заводської лінії на 6 станціях: «Холодна гора», «Центральний ринок», «Майдан Конституції», «Проспект Гагаріна», «Спортивна», «Завод ім. Малишева»)» для КОМУНАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА "ХАРКІВСЬКИЙ МЕТРОПОЛІТЕН" Договір №17/02-20 від 17.02.2020 р.;

- «Реконструкції пристроїв залізничної автоматики перегону ст. Павлоградська – ст. Тернівська») ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ" Договір №11/09-20 від 11.09.20р.

Застосування комплексу розроблених методів та моделей дозволяє:

- зменшити на 7,4 % витрати часу на пошук ушкоджень технічним персоналом.

Голова комісії:
Члени комісії:

 Васюхно А.В.
 Полянська В.О.
Лихольот М.М.



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор технічний

ТОВ «НВП «Залізничавтоматика»

Кузьменко Д.М.

"15" липня 2020г.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Гаєвського Віталія Вікторовича
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.22.20

Цей акт складений комісією в складі:

Голова комісії:

Начальник дільниці Лихольот М.М.

Член комісії:

Інженер - проектувальник Українець О.С.

Інженер - проектувальник Ренковий Є.В.

Комісія вивчила матеріали результатів досліджень методів та моделей оперативної ідентифікації, оцінювання та локалізації небезпечних станів систем керування рухом поїздів проведених здобувачем кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Українського державного університету залізничного транспорту Гаєвським В.В., і зазначає наступне:

1. 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. Використаний при реалізації проектів «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*.

2. Розроблений метод інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів, який забезпечує розширення функційних можливостей та підвищення функційної безпечності системи мікропроцесорної централізації за рахунок ідентифікації та наступного блокування безпеки. Використовується при реалізації проекту «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.*

3. Сформований 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. Використаний при розробленні технічних рішень проектної документації «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.*

Застосування комплексу розроблених методів дозволяє:

- зменшити на 7,4 % витрати часу на пошук ушкоджень технічним персоналом;
- збільшити на 6,9 % ймовірність виявлення та послідууючої локалізації небезпечних подій в цифрових системах керування рухом поїздів;
- 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.

Загальний економічний ефект від впровадження однієї системи на станції складає 181973 грн.

Голова комісії:

Члени комісії:

Лихольот М.М.

Українець О.С.

Ренковий Є.В.

ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Проректор Українського державного
 університету залізничного транспорту
 з науково-педагогічної роботи
 Артур КАГРАМАНЯН
 «03» березня 2020 р.



АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи
 Гаєвського Віталія Вікторовича

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20
 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» у навчальному процесі Інституту перепідготовки
 та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного
 транспорту

До основних результатів дисертаційної роботи Гаєвського В.В., що використовуються в
 навчальному процесі ІППК Українського державного університету залізничного транспорту,
 належать:

1. Базовий інструмент для уніфікованого конфігурування прикладного програмного забезпечення та дослідження функціональних властивостей систем МПЦ і РПЦ шляхом їх моделювання на основі функціональної ознаки.
2. Метод забезпечення безпечного функціонування системи мікропроцесорної централізації на основі концепції ризик менеджменту.
3. Процедуру інтерактивної взаємодії персоналу і програмно-технічних засобів, яка забезпечує розширення функціональних можливостей та підвищення функціональної безпечності системи мікропроцесорної централізації за рахунок ідентифікації та наступного блокування небезпеки.
4. Метод порівняльного оцінювання структур окремих систем мікропроцесорної централізації на основі теорії графів з використанням матриць суміжності та матриці відстані.
5. Багатовимірний функціонал надійності та безпечності, що дозволяє визначати стан системи мікропроцесорної централізації в довільні моменти часу з урахуванням параметрів зношення елементів та урахуванням мінливостей інтенсивності відмов компонентів, що забезпечує визнання передвідмовних станів.

Дані розробки з 2016 року по теперішній час використовуються:

- при проведенні занять у групах факультету підвищення кваліфікації фахівців служб сигналізації та зв'язку (відділ СЦБ), інженерів, начальників дільниць, старших електромеханіків СЦБ;
- як елемент застосування інформаційно-комунікаційних технологій при проведенні навчальної, виробничої та переддипломної практики студентів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти за спеціальностями «Комп'ютерна інженерія», «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та «Залізничний транспорт» у дистанційному режимі.

В.о. заступника директора ІППК,
 к.т.н., доцент

Вячеслав ЗАХАРЧЕНКО