

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ**

Мойсєєнко Валентин Іванович

УДК 656.25:681.05.015

**МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ
ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
АВТОМАТИКИ ШЛЯХОМ ОПЕРАТИВНОГО ВИЯВЛЕННЯ
ПОРУШЕНЬ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів», Міністерство транспорту та зв'язку України

Науковий консультант:

доктор технічних наук, професор

Бойнік Анатолій Борисович

Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів», завідувач кафедри

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Самсонкін Валерій Миколайович

ДП Державний науково - дослідний центр залізничного транспорту України, директор

доктор технічних наук, професор

Каргін Анатолій Олексійович

Донецький національний університет, кафедра «Інформаційні системи і технології», завідувач кафедри

доктор технічних наук, професор

Фурман Ілля Олександрович

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенка, кафедра «Автоматизація та комп'ютерні технології», завідувач кафедри

Захист відбудеться «__» _____р. о _____годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, площа Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, площа Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий

2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради

А.В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. Залізничний транспорт є однією з бюджетоутворюючих галузей національної економіки. Його стабільне функціонування забезпечує ефективну роботу промисловості, підвищення рівня добробуту населення, забезпечення обороноздатності, національної безпеки й цілісності держави.

Одним з найбільш важливих показників, що забезпечують конкурентно-спроможність залізничного транспорту на ринку перевезень, є безпека руху. На сьогоднішній день стан виробничої бази і технологічний рівень перевезень за багатьма параметрами не відповідають в повній мірі вимогам суспільства, світовим та європейським стандартам якості транспортних послуг. Зростає рівень матеріальних втрат від транспортних подій, так у 2009 році сума збитків склала 2534 тис. грн. що у 2,5 разу більше, ніж у попередньому.

Актуальність теми. Відсутність цілісного, сучасного підходу до проблем безпеки у галузі не сприяє зменшенню аварійності і найближчим часом може стати перешкодою для подальшого соціально-економічного розвитку України.

Недостатня наукова підтримка тенденцій розвитку систем керування залізничної автоматики, відсутність прогнозування характеру змін призвели до появи розриву між станом техніки й транспортними технологіями та можливостями існуючого теоретичного апарату теорії безпеки. При створенні нової техніки відбувається домінування технічних пріоритетів над соціально-економічними та екологічними. Внаслідок такого підходу не завжди враховуються можливі негативні наслідки технічного прогресу для суспільства й стану довкілля.

Дослідження техногенних катастроф указує на існування системних причин їх виникнення й визначає необхідність удосконалення наукових основ та практичних методів підвищення безпеки залізничного транспорту на основі балансу між розмірами можливих втрат та очікуваними техніко-економічними перевагами.

Вирішення зазначеної наукової проблеми неможливе в рамках існуючої методології аналізу показників надійності або тільки дослідженням нештатних ситуацій, що виникають в процесі використання систем керування залізничної автоматики. В першу чергу це пояснюється складністю та багатофакторністю транспортних технологічних процесів, впливами суспільства й зовнішнього середовища. Регламентуючі документи комісії ООН з питань безпеки та накопичений досвід роботи суміжних галузей безпосередньо вказують на необхідність створення наукового підґрунтя підвищення безпеки пристроїв та систем керування залізничної автоматики, що потребує вирішення низки науково-практичних проблем, пов'язаних з визначенням небезпек, проведенням аналізу причин та наслідків порушень.

У зв'язку з цим у дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення науково - прикладної проблеми підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики шляхом оперативного виявлення передвісників порушень, формування критеріїв кількісних і якісних оцінок та корегувальних дій, направлених на локалізацію небезпечних факторів й усунення причин їх виникнення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Української державної академії залізничного транспорту з урахуванням концептуальних положень підпрограми 02.5: «Залізничний транспорт Програма роботи на 2005–2009 роки», затвердженої на 64-й сесії Комітету по внутрішньому транспорту 58-ї сесії ООН «Railway safety: risk assessment techniques» 2004 року; програми «Support to the Integration of Ukraine in Trans - European Transport Network TEN-T»; концепції розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 року (Наказ МТЗ №764 від 05.11.2001 р.); а також науково-дослідних робіт: «Розробка автоматизованої системи знімання інформації про проходження поїздів по міждержавних та міжнародних стикових пунктах» (№ 904-28/99-705.99-ЦТех); «Розробка автоматизованої системи виявлення та аналізу умов затримок поїздів» (№ ДР01020U006314, архів №0203U000983,); «Розробка мікропроцесорної системи тренінгу основних навиків роботи та контролю поточних знань чергового по станції – макет-тренажер ДСП (№ ДР 0104U007159)»; «Розробка пропозицій по удосконаленню верхнього рівня мікропроцесорної системи гіркової автоматичної централізації (№ ДР0107U007061)»; «Дослідження та розробка дослідного зразка напівпровідникового реле напруги (№ ДР 0110U000731)»; «Дослідження та удосконалення експлуатаційних параметрів залізничного транспорту в частині розрахункових засобів обліку електроенергії з виготовленням дослідного зразка на тягових підстанціях 35 кВ (№ ДР 0110U000729)».

У вказаних науково - дослідних роботах дисертант був дослідником.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є теоретичне обґрунтування й вирішення науково - прикладної проблеми підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики за рахунок оперативного виявлення порушень, яка має важливе науково - технічне та соціально - економічне значення. Досягнення цієї мети передбачає постановку і вирішення таких основних проблем:

- аналіз і теоретичне узагальнення результатів наукових досліджень з питань безпеки використання систем керування залізничної автоматики;
- визначення закономірностей зміни чисельності порушень та формалізація процесу формування корегувальної дії системи управління безпекою, як реакції на порушення при граничному рівні фізичної зношеності систем керування залізничної автоматики для розробки заходів з підвищення безпеки їх використання;

– створення нового наукового підходу до виявлення передаварійних ситуацій процесу використання систем керування залізничної автоматики та розроблення методу локалізації небезпечних подій для виявлення небезпек на більш ранній стадії та запобігання їх можливим негативним наслідкам;

– розроблення комплексу моделей небезпечних подій у пристроях та системах керування залізничної автоматики, зокрема: моделей станів, окремих порушень безпеки, транспортних подій для їх оперативного виявлення, зменшення витрат часу персоналу на пошук причин пошкоджень;

– удосконалення методів оцінювання стану безпеки та ранжирування небезпек для зняття існуючих обмежень у первинній інформації про об'єкт дослідження;

– удосконалення методу визначення впливу порушень на складові процесу використання засобів станційної автоматики для встановлення критичних значень інтенсивностей порушень;

– удосконалення моделі станів станційної автоматики для оперативного контролю безпеки ремонтних та відновлювальних робіт;

– розвиток теоретичних положень оцінювання рівня порушень безпеки для оперативного визначення стану безпеки процесу використання систем керування залізничної автоматики;

– розвиток концепції підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики, формування корисного результату їх функціонування для наукового обґрунтування заходів з модернізації, розширення функціональних можливостей мікропроцесорних систем станційної автоматики.

Об'єкт дослідження – процес безпечного використання систем керування залізничної автоматики.

Предмет дослідження – методи і моделі виявлення, оцінки та локалізації порушень безпеки використання систем керування залізничної автоматики.

Методи дослідження. Методи загальної теорії систем та теорії функціональних систем використані при теоретичному обґрунтуванні підвищення безпеки систем керування залізничної автоматики; методи теорії катастроф застосовані при визначенні передаварійних станів; методи теорії масового обслуговування використовувались при визначенні впливу порушень на процес використання систем керування залізничної автоматики; методи теорії надійності, математичної статистики, нечітких множин та теорії безпеки – при вирішенні завдань, пов'язаних із встановленням регулюючих вимог до показників безпеки, формулювання методів та процедур оцінок небезпечних подій; методи теорії графів, теорії надійності та функціональної безпеки, нечіткої логіки, методи ідентифікації використані при розробленні моделей небезпечних подій; методи теорії безпеки використовувались при розробці концептуальних положень підвищення безпеки

використання пристроїв та систем керування залізничної автоматики й локалізації виникаючих порушень.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертації вирішена науково-практична проблема підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики шляхом оперативного виявлення порушень.

Уперше:

– на основі аналізу і теоретичного узагальнення результатів наукових досліджень з питань безпеки використання засобів залізничної автоматики визначено закономірності зміни чисельності порушень за часом, формалізовано процес формування корегувальної дії системи безпеки як реакції на виникаючі порушення, встановлено рівень граничного значення фізичної зношеності систем керування автоматики, за якого є можливим процес корегування, що забезпечило теоретичне обґрунтування заходів з підвищення безпеки їх використання;

– запропоновано новий науковий підхід до виявлення передаварійних ситуацій процесу використання засобів залізничної автоматики у вигляді канонічної катастрофи збірки з можливістю визначення критичних точок біфуркаційної множини на поверхні катастрофи, розроблені: процедура моніторингу стану безпеки та метод локалізації небезпечних подій для виявлення небезпек на більш ранній стадії й запобігання їх можливим негативним наслідкам;

– розроблено комплекс моделей небезпечних станів, окремих порушень та транспортних подій у системах станційної автоматики, застосування яких забезпечило більш оперативне виявлення порушень, оцінку рівня небезпек і зменшення витрат часу персоналу на пошук причин їх появи.

Вдосконалено:

– метод оцінювання стану безпеки руху шляхом аналізу поведінки функції, що апроксимує показники звітності, та метод ранжирування небезпек за умов існуючих обмежень в інформації про об'єкт дослідження, що, на відміну від існуючих, забезпечило зняття обмежень на вхідні дані та розширення можливостей наукового аналізу заходів з підвищення безпеки засобів залізничної автоматики;

– метод визначення впливу порушень на складові процесу використання засобів станційної автоматики (зокрема встановлені критичні значення їх інтенсивностей для здійснення експлуатаційної роботи й організації технічного обслуговування), що, на відміну від відомих, забезпечує більш широкі можливості проведення наукового аналізу заходів з підвищення безпеки;

– модель станів процесу використання засобів станційної автоматики шляхом введення нештатного запланованого стану, що забезпечило більш повне врахування технологічних особливостей роботи систем керування залізничної автоматики.

Дістали подальшого розвитку:

– теоретичні положення оперативного визначення стану безпеки використання елементів та систем залізничної автоматики для сигналів з булевою логікою, та у вигляді нечітких лінгвістичних змінних, за умов невизначеності у первинній інформації, що забезпечило оперативне визначення стану безпеки використання систем керування залізничної автоматики при існуючих завадах та обмеженнях у сигналах систем керування рухом поїздів;

– концепція підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики та теоретичні положення формування корисного результату їх функціонування, які забезпечили наукове обґрунтування підвищення безпеки за рахунок розширення функціональних можливостей програмно-апаратних засобів мікропроцесорних систем станційної автоматики в частині безпеки їх використання.

Практичне значення результатів роботи полягає в тому, що реалізація отриманих результатів теоретичних досліджень дозволила забезпечити підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики за рахунок зменшення витрат часу на виявлення і локалізацію порушень.

Результати дослідження характеристик зміни чисельності порушень, поведінки корегувальної дії, впливу порушень на складові процесу використання систем керування залізничної автоматики, виявлення станів, що передують транспортній події, використані при розробленні рекомендацій щодо підвищення безпеки руху та впровадження нових систем керування на Донецькій залізниці (акт впровадження ДП «Донецька залізниця»).

Методи оцінювання стану безпеки руху та ранжирування небезпек, спосіб безпечного гальмування відчепів на сортувальних гірках використані при формуванні заходів оперативної роботи з підвищення безпеки руху служби сигналізації та зв'язку Донецької залізниці і «НВП ТОВ «Харзалізничтранс-АС» (акти впровадження ДП «Донецька залізниця» та «НВП ТОВ «Харзалізничтранс-АС»).

Комплекс моделей небезпечних подій, що складається з моделей графів станів та переходів об'єктів керування; моделі станів процесу використання засобів станційної автоматики, дерев транспортних подій; нейромережних моделей, а також метод локалізації небезпечних подій використані при розробленні апаратного та програмного забезпечення мікропроцесорних систем керування і контролю Південно-Західної залізниці та КП «Київський метрополітен» (акт впровадження «НВП ТОВ «Залізничавтоматика»).

На основі отриманих наукових результатів сформульована концепція підвищення безпеки мікропроцесорних систем керування залізничної автоматики, розроблені типові проектні рішення та нормативні документи Державної адміністрації залізничного транспорту України (акти впровадження «НВП ТОВ «Залізничавтоматика», «НВП ТОВ «Харзалізничтранс-АС»).

Наукові результати використовуються у навчальному процесі УкрДАЗТу (м. Харків) при підготовці магістрів, аспірантів, керівників та спеціалістів галузі на курсах підвищення кваліфікації з питань безпеки використання систем керування залізничної автоматики (акт впровадження УкрДАЗТ).

Отримані теоретичні результати можуть бути використані при створенні нових систем керування, розробці заходів з підвищення безпеки технологічних процесів на підприємствах промислового залізничного транспорту, в інших галузях, функціонування яких пов'язане з ризиками втрат.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Наукові праці [2, 5, 6, 7, 12, 16, 27, 29, 31, 38, 40, 41–43] виконані автором одноосібно.

У наукових працях, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок автора такий. У [3] сформульовані теоретичні передумови визначення закономірностей зміни чисельності порушень, у [4, 37] методи безпечної роботи людини-оператора, у [8, 9, 22, 39] розроблені теоретичні положення і визначені критерії небезпек комплексу моделей небезпечних станів, окремих порушень та транспортних подій, у [17, 30, 34] теоретично обґрунтовано метод оцінювання стану пристроїв автоматики, у [11] визначені принципи ранжирування небезпек, у [15] сформульований метод визначення впливу порушень на складові процесу використання засобів станційної автоматики, у [32] сформульовані теоретичні положення оперативного визначення стану безпеки використання елементів та систем залізничної автоматики для сигналів з булевою логікою, у [1, 18, 19, 21, 23] сформульовані принципи синтезу нейромережних моделей та функцій належності для оцінки рівня небезпек, у [14] визначені принципи оцінки гіркових горловин, у роботах [10, 13, 20, 24-26, 28, 33, 35, 36, 44-46], пов'язаних з впровадженням наукових результатів, автором сформульована концепція підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики, запропоновані принципи побудови апаратних та програмних засобів систем автоматики, методи підвищення безпеки процесу їх використання й розширення функціональних можливостей.

Апробація результатів роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були ухвалені:

а) на міжнародних конференціях: 15-20-й міжнародних конференціях «Перспективні системи управління на залізничному, промислового та міському транспорті» (м. Алушта, 2003-2008 роки); міжнародній конференції «Автоматика - 2003» (Севастопольський технічний університет, 2003 р.); 16-th International Conference "Current Problems in Rail Vehicles–PRORAITL 2003." (Slovakia, Zilina, 2003 р.); 13-й міжнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика -

2006» (Вінницький національний технічний університет, 2006 р.); 60-71-й міжнародних науково-технічних конференціях кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (м. Харків, УкрДАЗТ, 1998–2010 роки);

б) міжнародних науково-практичних конференціях «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (м. Гомель, БілДУТ, 2005 р. і 2008 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика» (м. Дніпродзержинськ, ДНТУ, 2008 р.); 65-й та 70-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, ДПТ, 2005 р. та 2010 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Наука в транспортному вимірі» (м. Київ, ДНДЦ ЗТ, Східноукраїнський національний університет ім. Даля, 2005 р.); міжнародній науково-практичній конференції «Удовлетворение потребностей населения в пассажирских перевозках» (м. Харків, УкрДАЗТ, ХНАМГ, ДП «Харківський метрополітен», 2005 р.); науково-практичних конференціях «Перспективи впровадження технічних засобів безпеки руху на залізницях України» (м. Луганськ, 2009 р. та м. Хмільник, 2010 р.);

в) міжнародній школі - семінарі «Перспективы системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте» (м. Алушта, УкрДАЗТ - УЗ - НАНУ, 2002 р.).

Дисертаційна робота повністю доповідалась: на науково-технічній нараді Державного науково-дослідного центру залізничного транспорту України; науковому семінарі кафедри автоматики, телемеханіки та зв'язку Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна; міжкафедральному науковому семінарі Української державної академії залізничного транспорту.

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані в 36 основних наукових працях, серед них 34 праці у фахових виданнях ВАК України, одне авторське свідоцтво та патент України, а також у 10 додаткових працях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 356 сторінок, з них 97 рисунків по тексту на 93 сторінках; 30 таблиць по тексту; 7 додатків на 31 сторінці; 272 найменувань використаних літературних джерел на 27 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми дослідження, показано зв'язок з науковими планами, програмами, темами, наведено характеристику наукової новизни та практичного значення отриманих результатів.

У першому розділі поставлені та вирішені питання наукового аналізу результатів теоретичних положень з безпеки використання систем керування залізничної автоматики (СКЗА), характеристик предмета й об'єкта дослідження.

Аналіз наукових праць провідних вчених та фахівців залізничного транспорту М.М. Бабаєва, Є.П. Блохіна, Б.Є. Боднара, А.Б. Бойніка, Т.В. Буцько, М.І. Данька, І. В. Жуковицького, Г.І. Загарія, В.М. Лісенкова, В.І. Мороза, Е.В. Нагорного, В.Я. Негрея, В.М. Самсонкіна, В.В. Сапожнікова, О.І. Стасюка, Е.Д. Тартаковського, А.П. Фалендиша та інших дозволив сформулювати основні напрямки досліджень, направлених на підвищення безпеки використання засобів транспорту. Теоретичне узагальнення робіт у суміжних галузях техніки, зокрема І.З. Аронова, І.В. Васильченка, Г.В. Дружиніна, І.М. Каденко, А.О. Каргіна, В.С. Харченка, І.О. Фурмана, М.О. Ястребенецького, Р. Барлоу, Р. Луссара, Ф. Прошану, А. Расмуссена, Х. Кумамото, Е.Д. Хенлі, присвячених аналізу причин та наслідків ризиків небезпечної діяльності, дозволило конкретизувати напрямки дослідження з урахуванням специфіки технології залізничного транспорту. Визначені складові об'єкта дослідження, встановлені їх характеристики. Проаналізовані основні дестабілізуючі фактори процесу використання СКЗА та встановлені основні причини виникнення транспортних подій.

У другому розділі поставлені й вирішені завдання забезпечення безпеки як системного фактора процесу використання засобів залізничного транспорту. Зокрема, встановлені характеристики зміни чисельності порушень, дістали подальшого розвитку теоретичні положення сформульованої В. М. Самсонкіним парадигми «розмірність системи - толерантність» в частині точності реалізації системою залізничної автоматики окремої функції, теоретично обґрунтовано процес формування корегувальної дії при граничних показниках зношеності СКЗА, визначені критичні значення інтенсивності порушень для виконання експлуатаційної роботи та технічного обслуговування, створено новий науковий підхід до виявлення передумов виникнення аварійної ситуації.

Цільова функція вирішення проблеми визначена відповідно до європейського стандарту EN 50126, що визначає комплекс показників функціонування залізничного транспорту в частині безпеки (RAMS). Якщо розглядати процес безпеки використання СКЗА у рамках зазначеного документа, тоді її стан $S(t)$ у довільний час t можна визначити за допомогою наведеного оператора

$$S(t) = \psi^0(t; S_0; D_i; Q_H(t); x_i), \quad (1)$$

де ψ^0 – оператор стану безпеки;

S_0 – початковий стан;

D_i – корегуюча дія оперативного управління безпекою;

$Q_H(t)$ – імовірність небезпечної роботи, $Q_H(t) = P(T < t)$;

x_i – множина параметрів, що характеризують безпечні властивості СКЗА.

Згідно з ДСТУ 4178 - 2003 параметрами, що характеризують x_i , можна вважати:

- K_{σ} – коефіцієнт готовності до безпечної роботи, $K_{\sigma} = \lim_{t \rightarrow \infty} K_{\sigma}(t) = T_n / (T_n + T_{\text{сер.в}})$;
- T_n – середній наробіток до небезпечної події;
- $T_{\text{сер.в}}$ – середня тривалість відновлення

$$T_{\text{сер.в}} = T_{\sigma} + T_{\text{л.}} + T_{\text{вр.}}$$

де T_{σ} , $T_{\text{л.}}$, $T_{\text{вр.}}$ – час виявлення, локалізації порушень і проведення відновлення.

Цільова функція дослідження досягає максимального значення за умов:

$$S(t) \rightarrow S(t)_{\max}; \quad Q_H(t) \rightarrow Q_H(t)_{\min}; \quad x_i \rightarrow x_i_{\max}; \quad K_{\sigma} \rightarrow K_{\sigma}^{\max}; \quad T_{\sigma} \rightarrow T_{\sigma}^{\min}; \quad T_{\text{л.}} \rightarrow T_{\text{л.}}^{\min}; \quad T_{\text{вр.}} \rightarrow T_{\text{вр.}}^{\min} \quad (2)$$

Цільова функція та наукова проблематика роботи визначені виходячи з незалежності подій, що досліджуються, потік їх виникнення вважається найпростішим з притаманними властивостями ординарності, стаціонарності й відсутності післядії. Дослідження характеру змін чисельності порушень вказує на наявність суттєвих якісних відмінностей їхньої поведінки у різні періоди. Встановлено, що при сталій тенденції зміни чисельності небезпечних подій, їх поява за роками найбільш точно зображується кривою третього порядку

$$y = A + Bx + Cx^2 + Dx^3, \quad (3)$$

де $A=22,04$, $B=2,5428$, $C=0,272$, $D = 0,0027$ – коефіцієнти, чисельні значення яких визначаються відповідно до рівнянь:

$$\begin{aligned} A \cdot N + B \cdot \sum_{i=1}^9 x_i + C \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^2 + D \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^3 &= \sum_{i=1}^9 Y_i; \\ A \cdot \sum_{i=1}^9 x_i + B \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^2 + C \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^3 + D \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^4 &= \sum_{i=1}^9 x_i Y_i; \\ A \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^2 + B \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^3 + C \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^4 + D \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^5 &= \sum_{i=1}^9 x_i^2 Y_i; \\ A \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^3 + B \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^4 + C \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^5 + D \cdot \sum_{i=1}^9 x_i^6 &= \sum_{i=1}^9 x_i^3 Y_i, \end{aligned}$$

де x_i – чисельність порушень у засобах автоматики за роками (за 9 років).

У процесі аналізу місячних реалізацій порушень була висунута гіпотеза про випадковий характер змінних x_1, x_2, \dots, x_n , які характеризують їх кількість у такі періоди з

розподіленням відповідно до нормального закону. Перевірка підтвердила коректність сформульованих припущень стосовно характеристик місячних реалізацій і не заперечила висунутій гіпотезі щодо нормального закону розподілення з оцінкою 0,05 за критерієм Пірсона. Отримані результати досліджень забезпечили формування запобіжних річних оперативних планових заходів щодо підвищення безпеки з відносною середньою похибкою визначення очікуваних значень чисельності порушень у межах 20 %.

Проблема оцінки функціонування системи безпеки, відома як парадигма «розмірність – толерантність», розглянута в частині точності реалізації окремої функції. Якщо припустити, що в процесі формування кінцевого результату діяльності системи l беруть участь функції m_1, m_2 , які сприяють або не сприяють результату з дисперсією: $\sigma = \max \sigma_k$ ($k = 1, (m_1+m_2)$), загальна дисперсія системи σ_L може бути визначена нерівністю: $\sigma_k \leq \sigma_L \leq (m_1+m_2)\sigma_k$. Тоді відомий довірчий інтервал для граничного значення σ_L при n спробах розпізнавання образу навколишнього середовища M_ϕ матиме вигляд

$$P \left| \frac{l - M_\phi}{\sqrt{m_1 + m_2}} \right| \leq Z_L = \alpha = 2\Phi_0(Z_\alpha). \quad (4)$$

Беручи до уваги відомі умови щодо толерантності (точності розпізнавання) образу системоутворюючого простору Δ_0 для заданої $\alpha=0,95$ функції Лапласа $\Phi_0(Z_\alpha)$, отримаємо визначення Δ_0 з урахуванням значення класичного довірчого інтервалу

$$\Delta_0 = \frac{Z_\alpha \sqrt{m_1 + m_2}}{\sqrt{n}}. \quad (5)$$

Нерівність (5) встановлює залежність точності розпізнавання при \sqrt{n} спробах для системи з розмірністю функцій (m_1+m_2) . Вважається, що динаміка середовища має вигляд випадкового стаціонарного процесу з дисперсією σ^2 і довірчим інтервалом Z_α . Отримані результати забезпечили розроблення технічних рішень для підвищення безпеки використання систем мікропроцесорної централізації (МПЦ).

Підтримання максимального рівня корисного результату L функціонування СКЗА забезпечується корегувальною дією D з функцією керування $F(D, L)$, що наближена до процедури пошуку екстремуму $L \rightarrow L_{max}$,

$$F(D, L) = \begin{cases} 1, & \text{якщо протягом часу } t \text{ цієї дії } : D > 0; \\ 0, & \text{якщо протягом часу } t \text{ цієї дії } : D < 0. \end{cases}$$

Система має деяку чутливість й постійну часу, що залежить від спроможності оперативно визначити причину порушення. Її поведінка може бути зображена класичним

диференційним рівнянням з корективами, які відображають особливості процесу використання систем керування залізничної автоматики

$$TE + L + K_p D = 0, \quad (6)$$

де E, D – похідні за безрозмірним часом вказаних значень L та D ;

T – загальний час перебування системи у нештатному стані;

K_p – показник ресурсу, що характеризує рівень фізичної зношеності СКЗА.

Корегувальна дія в загальному вигляді зображується як багатовимірний вектор $D = F(d_1, d_2, \dots, d_n)$ й визначається коренем D^* трансцендентного рівняння

$$DT = \frac{\Delta}{K_p} + \alpha,$$

де Δ – час виявлення порушення (можна вважати чутливістю системи);

α – коефіцієнт, що враховує необхідні зміни корегувальної дії, залежно від часу перебування СКЗА у нештатному стані, при появі окремого порушення.

Отримано визначення корегувальної функції, що характеризує зміни часу оперативної реакції на виникаючі порушення в залежності від показника K_p

$$Y = T + \frac{\Delta}{2K_p}. \quad (7)$$

За існуючої зношеності засобів автоматики оперативна реакція системи безпеки забезпечується при показниках $T = 1,5$ год, $\Delta = 0,5$ год. Критичним для процесу формування корегувальної дії можна вважати знос на рівні 85 % (рис. 1).

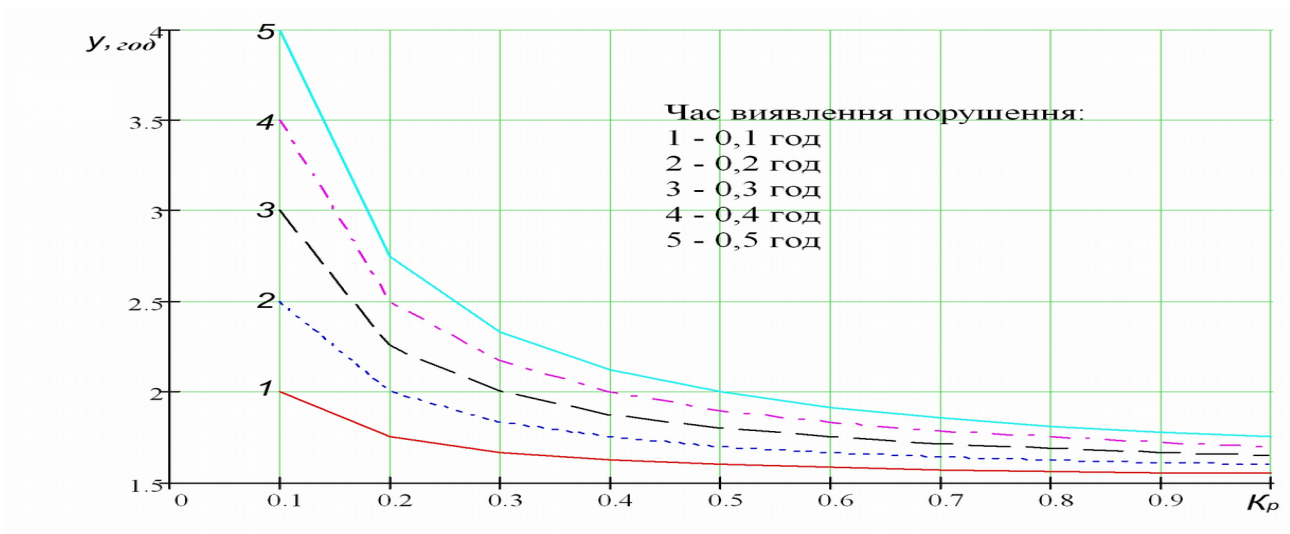


Рис. 1. Залежність оперативної реакції на порушення від зміни фізичної зношеності та часу виявлення порушень у засобах автоматики

де $n_{оч}$, $n_{обсл}$ – кількість заявок, що очікують обслуговування та обслуговуються.

Адекватність моделі перевірялась шляхом зіставлення отриманих даних з показниками звітності для позакласних станцій та станцій 1–5 класу (рис.3). Результати моделювання мають вигляд функцій фінальних ймовірностей, як оціночний критерій роботи системи станційної автоматики застосовується значення часу очікування $\bar{t}_{i \div} < \bar{t}_{оч.мах}$, при якому можлива поява черги замовлень.

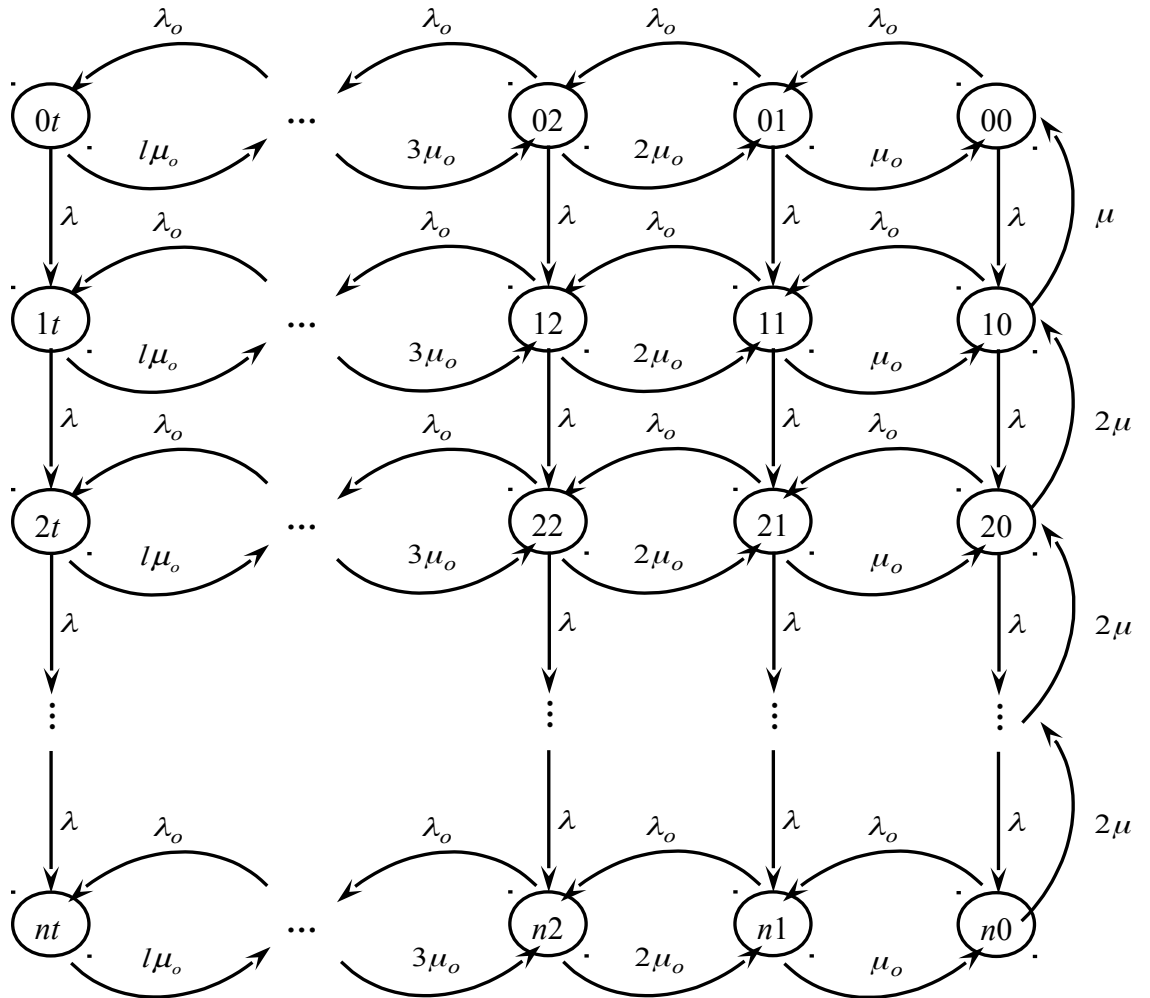


Рис. 2. Граф станів та переходів станційної системи автоматизації

Рис. 3. Залежність часу очікування замовлень від інтенсивності порушень у системах станційної автоматики

Критичні значення інтенсивності потоку порушень для ТО становлять $0,001 \text{ год}^{-1}$, відповідно для експлуатаційної роботи $0,01 \text{ год}^{-1}$, з відносною похибкою до 17%.

Визначення передаварійних ситуацій у процесі функціонування засобів залізничної автоматики здійснено шляхом поширення теорії катастроф на завдання транспортної безпеки. На основі сформульованих показників та критеріїв оцінювання стану техніки і технологічної дисципліни доведена можливість апроксимації поведінки процесу використання засобів автоматики у перед-аварійному стані катастрофою збірки Уїзні з рівнянням поверхні катастрофи $x^3 + ax + b = 0$, де a – змінна керування; b – змінна станів. В зоні біфуркації система має тільки один дійсний корінь x_1

$$x_1 = \frac{1}{6} \sqrt[3]{-108b + 12\sqrt{12a^3 + 81b^2}} - \frac{2a}{\sqrt[3]{-108b + 12\sqrt{12a^3 + 81b^2}}}$$

який характеризує поведінку сімейства кривих у точках збурювання.

На основі сформульованих критеріїв та статистичного матеріалу визначені чисельні значення біфуркаційної множини катастрофи у вигляді коефіцієнтів функції $V_{ae}(x)$. Початкова точка нестійкості має координати керованих змінних: $v=1$, $a=-1,86$, надалі, при погіршенні стану безпеки техніки та рівня організації робіт, зона біфуркації поступово розширюється (табл. 1). Шляхом модернізації леми Морса визначені передумови появи транспортної події. Показано, що для не виродженої критичної точки $V_{ae}(x)$ гладкої функції $f: R^n \rightarrow R$ можливо визначити локальні координати S_1, S_2, \dots, S_n , для яких переходи між станами відбуваються без стрибка.

Під стрибком розуміється перехід до нештатного небезпечного стану з будь-якого безпечного.

Таблиця 1

Приклад чисельних даних коефіцієнтів функції $V_{av}(x)$

v	a , при $d_{ab} = 0$	a , при $d_{av} > 0$	a , при $d_{av} < 0$
1	-1,86	$a > -1,86$	$a < -1,86$
2	-3	$a > -3$	$a < -3$
3	-3,9	$a > -3,9$	$a < -3,9$
4	-4,7	$a > -4,7$	$a < -4,7$
5	-5,5	$a > -5,5$	$a < -5,5$
...

Множина кривих поверхні катастрофи забезпечує визначення напруженого стану на етапі появи передумов транспортної події, зокрема наведена поверхня ілюструє момент появи складки (рис. 4) відповідно до чисельних даних біфуркаційної множини, поданих у табл. 1. Розроблена процедура моніторингу безпеки, що забезпечує оперативне передбачення передаварійного стану. Перевірка достовірності та адекватності здійснювалась шляхом порівняння теоретичної оцінки з фактичним станом у підрозділах, де були зафіксовані транспортні події, відносна похибка за результатами експериментів перебуває в межах 19-25 %.

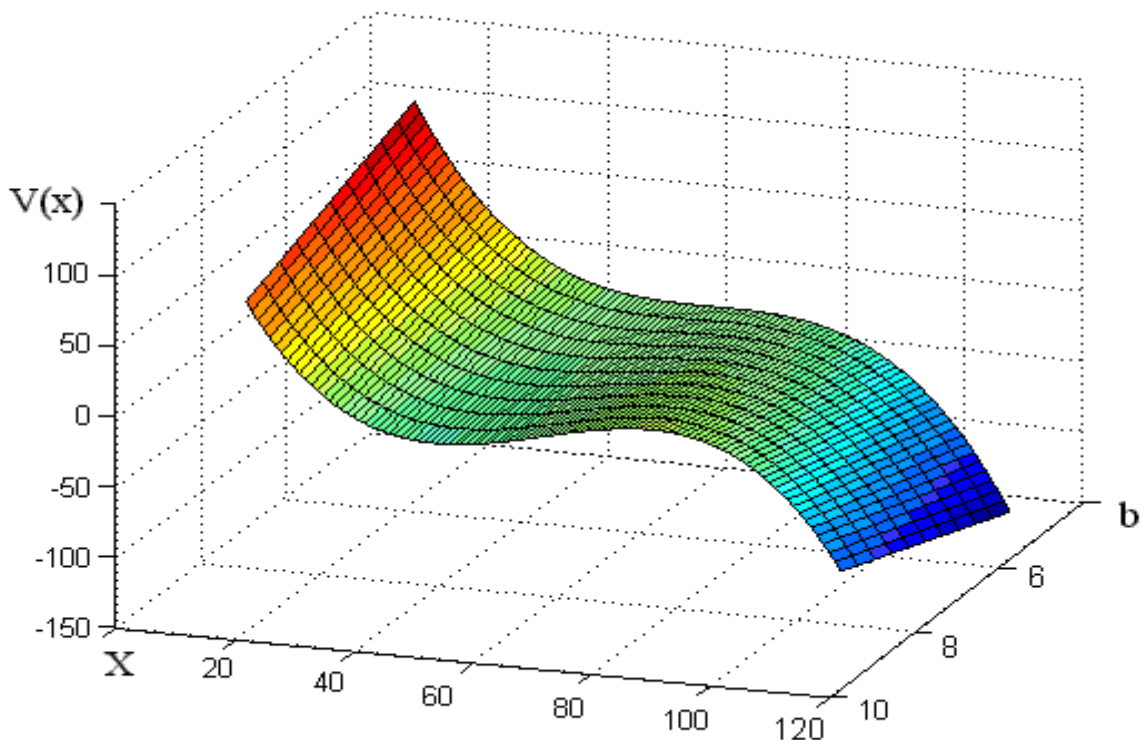


Рис.4. Зовнішній вигляд поверхні катастрофи збірки за даними спостережень

Наукові результати розділу викладені в роботах [3, 6, 7, 30, 31, 40, 42]. Їх впровадження, при розробленні заходів з підвищення безпеки руху поїздів Донецької залізниці, забезпечило зменшення на 1,7% кількості порушень у 2009 році.

У третьому розділі поставлені та вирішені питання, пов'язані з дослідженням ризиків, принципів керування ними, удосконаленням методів ранжирування небезпек та критеріїв оцінок стану безпеки руху.

Процес керування ризиками включає етапи моніторингу, аналізу небезпек, їх наслідків та розробку корегувальних заходів. Показано, що найбільш результативним є підхід, при якому забезпечується мультипараметричне регулювання визначених факторів. Метою планування реакції на ризики є зниження загроз і розширення можливостей системи для реалізації цілей її функціонування. Розроблені схеми прийняття рішень в умовах небезпеки та мотивації дій, пов'язаних з ризиками. Показано, що чим вище індивідом оцінюється рівень небезпеки, тим сильніше повинна бути мотивація за схемою: [оцінка небезпеки] < [мотивація]. Ризик окремого індивіда визначається добутком ймовірностей

$$P_{ij} = P_j^{ТП} \cdot P_{ij}^I \cdot P_{ij}^B, \quad (10)$$

де $P_j^{ТП}$ – імовірність виникнення транспортної події j -го виду ;

P_{ij}^I – імовірність участі в ній i -го індивіда;

P_{ij}^B – відповідно імовірність втрат для i -го індивіда.

Для ризиків суспільства, які характеризуються імовірністю P_k та масштабами втрат, вираз (10) дещо змінюється за рахунок уведення спеціальної функції $M(x)$

$$P_c = \sum_{j=1}^j P_k M(x),$$

де $M(x)$ – функція масштабів втрат суспільства від окремої транспортної події.

Шляхом експертного опитування визначене чисельне значення $M(x)$

$$M(x) = \begin{matrix} 0.35 & 0 & 0x & 01 \\ 0.017 & 1 & 0x & 02 \\ 0.1 & 2 & 0x & 03 \\ 0.6 & 3 & 0x & 04 \\ 0.8 & 4 & 0x & 05 \end{matrix} \quad (11)$$

Вказані оцінки створюють теоретичне підґрунтя для розроблення і введення у дію нормативних документів, що регламентують відшкодування втрат, які виникають внаслідок залізничних транспортних подій.

При визначенні критеріїв оцінок безпеки окремих підрозділів галузі як регулюючий параметр запропонований метод визначення поведінки функції $F(x)$, що апроксимує зміни у часі будь-якого показника офіційної звітності. Оцінка змін $F(x)$ забезпечується її першою похідною, для якої отримані значення апроксимуючої функції $F(x_i)$ окремих підрозділів і галузі у цілому:

$$\frac{dF(x)}{dt} = 0 \begin{matrix} \blacklozenge \\ \blacklozenge \\ \blacklozenge \\ \blacklozenge \\ \blacklozenge \end{matrix} \text{ норма}; \quad \frac{dF(x)}{dt} > 0 \blacklozenge \text{ негативна тенденція.}$$

$$\frac{dF(x)}{dt} < 0 \begin{matrix} \blacklozenge \\ \blacklozenge \\ \blacklozenge \\ \blacklozenge \\ \blacklozenge \end{matrix}$$

Як нормоутворюючий параметр обраний показник кількості виявлених порушень, віднесених до обсягів перевезень. Апроксимуюча функція стану безпеки руху для рівня Укрзалізниці з 2002 по 2008 роки описується рівнянням такого вигляду

$$F(x) = k_1 e^x + k_2 x + k_3 (x)^{-1} + k_4 (x - l)^{-1}, \quad (12)$$

де K_0, K_2, K_3 – коефіцієнти зі значеннями: $K_0 = -2,2 \cdot 10^{-4}$; $K_1 = 0,039$; $K_2 = 0,62$; $K_3 = 0,26$.

Характер поведінки рівняння (12) та його першої похідної наочно показує зміни стану безпеки руху протягом останніх років (рис. 5 а, б). Зокрема, з огляду на поведінку кривої (рис. 5, б), можемо спостерігати ознаки відносної стабілізації у період з 2006 по 2007 роки з наступним відновленням позитивної тенденції у 2008р.

Запропонований метод, на відміну від існуючих, дозволяє здійснювати порівняння результатів діяльності окремих підрозділів господарства сигналізації та зв'язку з урахуванням обсягів їх експлуатаційної роботи та інших показників

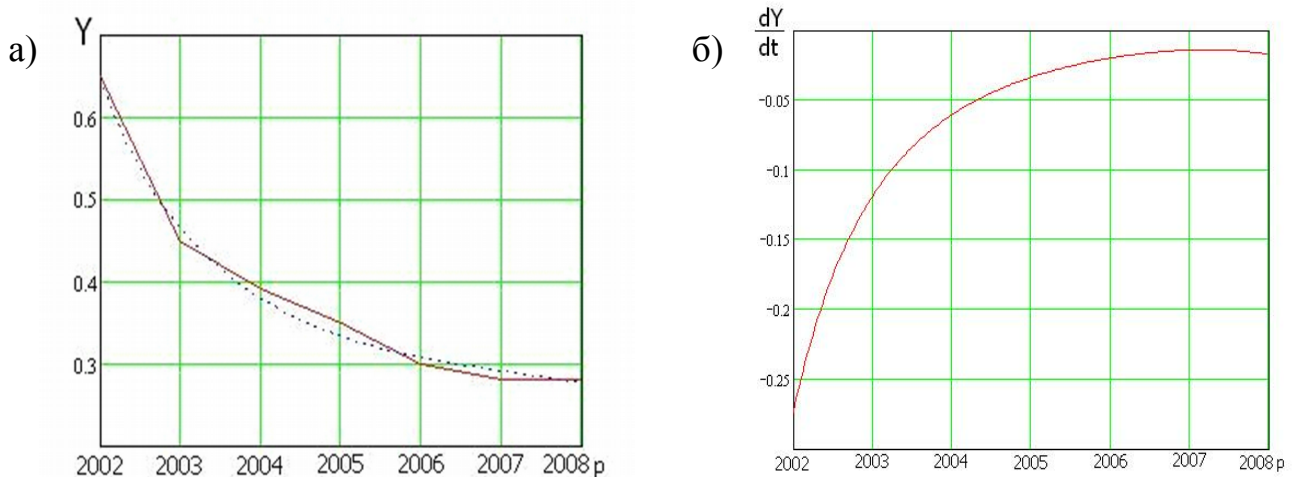


Рис. 5. Поведінка апроксимуючої функції показників безпеки засобів залізничної автоматики по Укрзалізниці: $y=F(x)$ (а), та її перша похідна (б)

звітності. Крім того, забезпечується виявлення й оцінка небезпечної тенденції зміни стану безпеки руху з середньою відносною похибкою до 7% на рівні Укрзалізниці.

Адекватність результатів забезпечувалась на основі функції $F(x, \alpha)$, яка із заданою точністю на рівні 0,05 мінімізує функціонал $I_{\Sigma}(\alpha) \rightarrow I_{\Sigma}(\alpha) \min$. сумарного ризику прогнозних значень параметра $y_i=f(x_i)$.

Для вирішення існуючих проблем зіставлення окремих небезпечних видів діяльності та небезпечних факторів за існуючих інформаційних обмежень запропоноване ранжирування даних на основі нечіткої логіки. Оцінкам небезпечних факторів ставляться у відповідність символи нечітких підмножин A області міркувань U_v з функціями належності $\mu A(y) \rightarrow [0, 1]$. Зазначена функція надає кожному елементу множини U_v відповідне значення $\mu A(y)$ з відрізка $[0, 1]$.

Кількість рангів не має принципового значення, тому є можливість максимально врахувати специфіку роботи об'єкта досліджень. Синтезовані функції належності для градацій небезпечних факторів: «високе», «середнє», «більше середнього», «менше середнього», «мале».

Зокрема, для лінгвістичних змінних «високе» та «середнє» маємо:

$$\mu_v(\text{високе}(B), y) = \begin{cases} 1, & y \geq 90 \\ \frac{y-75}{90-75}, & 75 \leq y < 90 \\ 0, & y < 75 \end{cases}; \quad \mu_v(\text{середнє}(C), y) = \begin{cases} \frac{70-y}{10}, & 60 \leq y < 70 \\ 1, & 40 \leq y < 60 \\ \frac{y-15}{5}, & 15 \leq y < 40 \end{cases}.$$

Шкала оцінок формується експертом з урахуванням особливостей поставлених завдань, значних обмежень на перелік параметрів немає.

Приклад ранжирувальної функції при п'яти градаціях оцінки безпеки внаслідок виникнення пожежі на посту електричної централізації наведений нижче:

$$f = \begin{cases} 1 & vr(v) - 1)^2 + 0.8 \cdot (zr(z) - 1)^2 + 1.1 \cdot (or(o) - 1)^2 < 0.8 \\ 2 & 0.8 \leq (vr(v) - 1)^2 + 0.8 \cdot (zr(z) - 1)^2 + 1.1 \cdot (or(o) - 1)^2 \leq 4 \\ 3 & 4 < (vr(v) - 1)^2 + 0.8 \cdot (zr(z) - 1)^2 + 1.1 \cdot (or(o) - 1)^2 < 9 \\ 4 & 9.1 < (vr(v) - 1)^2 + 0.8 \cdot (zr(z) - 1)^2 + 1.1 \cdot (or(o) - 1)^2 < 16.1 \\ 5 & 16.1 \leq (vr(v) - 1)^2 + 0.8(zr(z) - 1)^2 + 1.1 \cdot (or(o) - 01)^2 \end{cases},$$

з чисельним визначенням остаточного результату

$$(5 - vr(v))^2 + 0,8(5 - zr(z))^2 + 1,1(5 - or(o))^2 = (5 - 4)^2 + 0,8(5 - 3)^2 + 1,1(5 - 2)^2 = 1 + 2,4 + 1,1 \times 9 = 13,3$$

,

де $vr(v)$, $zr(z)$, $or(o)$ – чисельні характеристики рангів з оцінками ваги.

Зазначений метод суттєво зменшує вплив міжрангових стрибків в оцінках та знімає більшість існуючих обмежень у первинних даних. Наукові результати розділу викладені в роботах [11, 14, 15, 17, 29, 41], на їх основі розроблені регламентуючі документи з безпеки використання засобів залізничної автоматики.

У четвертому розділі вирішені питання моделювання небезпечних подій у процесі використання технічних засобів залізничної автоматики. Цільова функція моделювання описується змінними: $T_B \rightarrow \min$, $T_L \rightarrow \min$ з обмеженням стосовно дискретного характеру поведінки об'єктів. Засоби автоматики розглядаються як симбіоз підсистем $y_1(t)$, $y_2(t)$, ..., $y_n(t)$ з параметрами h_1 , ..., h_k , вхідними сигналами x_1 , x_2 , ..., x_n та факторами впливу навколишнього середовища v_1 , ..., v_n .

Удосконалений граф станів СКЗА шляхом доповнення його запланованим нештатним станом, який враховує специфіку використання систем станційної автоматики, що мають захисні відмови для локалізації порушень безпеки (рис. 6).

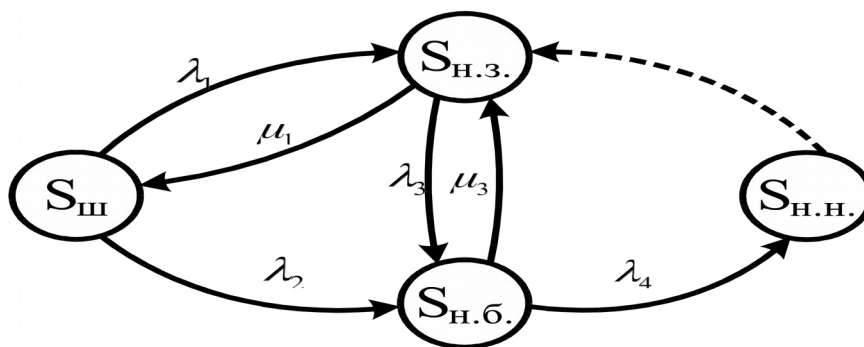


Рис.6. Граф станів процесу використання засобів залізничної автоматики

Отримане рівняння математичного очікування виникнення транспортної події дозволяє оцінювати стан безпеки у режимі, наближеному до реального часу з похибкою близько 20 %, яка в основному залежить від точності первинних даних

$$\bar{T}_{III} = \lim_{z \rightarrow 0} \bar{P}(Z) = \frac{(\lambda_1 + \lambda_3 + \mu_1)\lambda_4 + (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)\mu_3 - \lambda_1\mu_1}{\lambda_4(\lambda_1\lambda_3 + \lambda_2\lambda_3 + \lambda_2\mu_1)}, \quad (13)$$

де $\lambda_1, \dots, \lambda_4, \mu_1, \dots, \mu_3$ – інтенсивності переходів при порушеннях та відновленнях.

Для об'єктів мікропроцесорних систем централізації синтезовані моделі графів небезпечних станів та переходів з використанням принципу «нарощування» попередньої моделі. Приклад реалізації моделей станів стрілки в мікропроцесорних системах керування рухом поїздів наведений на рис. 7.

а)

б)

в)

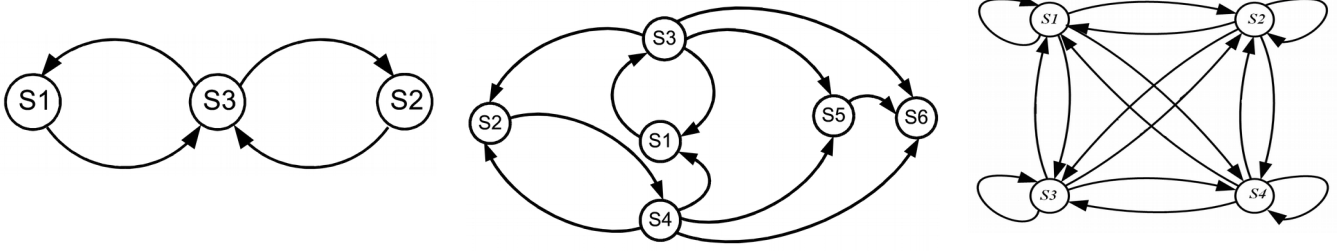


Рис.7. Реалізація графів станів та переходів стрілки в системах МПЦ:
 а – первинна модель; б – модель нижнього рівня; в – модель верхнього рівня

Теоретично обґрунтовані принципи створення прямої й диверситетної моделі віртуальної релейно-контактної логіки програмного забезпечення МПЦ. Отримані функції, що визначають умови безпечного $P_o(t)$ й небезпечного результату роботи програмної логіки $Q_n(t)$, та створюють передумови формування оперативних оцінок безпеки функціонування програмного забезпечення у режимі реального часу:

$$P_o(t) = [P(A_1)][P(A_2)] \dots [P(A_n)]; \tag{14}$$

$$Q_i(t) = 1 - P(A_1) - P(A_2) - P(A_3) - \dots - P(A_n); \tag{15}$$

де $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ – умови безпеки при встановленні маршрутів.

Відповідно імовірність спотворення диверситетної й основної програм:

$$Q_n(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P(A_i) = \sum_{k=1}^n \frac{n!}{(n-k)!k!} P_{ec}^k (P(A_k))^{n-k}; \tag{16}$$

$$P_o(t) = \prod_{i=1}^n P(A_i) = \sum_{k=0}^n \frac{n!}{(n-k)!k!} P_{ec}^k (P(A_k))^{n-k}; \tag{17}$$

де $P_c(A_k)$ – імовірність спотворення k -го символу n -елементного коду логіки МПЦ.

Механізм перетворення базується на принципі де Моргана для послідовної та паралельної РКЛ, за рахунок чого програми отримують диверситетні властивості, тобто: $F(Y=1) \Leftrightarrow F(Y^*=0)$; $F(Y=1) \Leftrightarrow F(Y^*=0)$. На відміну від існуючих здійснюється повна перевірка впливу всіх змінних (x_1, x_2, \dots, x_n) на формування вихідного сигналу $F(X)$, що забезпечує підвищення безпечних властивостей мікропроцесорних систем централізації. Коректність результату забезпечується шляхом зіставлення функцій $F(Y)$ та $F(Y^*)$. Беручи до уваги складність та ієрархічність об'єкта дослідження, запропоновано комплекс моделей транспортних подій. Функція моделювання

$Y = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ базується на припущенні незалежності первинних порушень x_i , а обмеження стосовно кінцевої події y_i визначаються бінарною функцією $\psi(x)$, причому $\psi(x) = 1$ якщо подія відбувається і, навпаки $\psi(x) = 0$ при її відсутності. Розроблені дерева транспортних подій для окремих галузей, на основі яких синтезовано загальне формалізоване дерево транспортної події. Функціонування його забезпечується за рахунок оперативної інформації про відмови техніки x_1, x_2 та помилки персоналу x_3, x_4 (рис.8)

$$Y_{ТПФ} = (x_1 \text{ AND } x_2) \text{ OR } [(x_1 \text{ AND } x_2) \text{ AND } x_3] \text{ AND } (x_3 \text{ AND } x_4) \text{ OR } [(x_1 \text{ AND } x_2) \text{ AND } x_4]. \quad (18)$$

Модель починає функціонувати з моменту виникнення будь-якої первинної події $[(x_1 = 1), (x_2 = 1), (x_3 = 1), (x_4 = 1)]$ з виразу (18), яка ініціює всі можливі варіанти реалізації небезпечних послідовностей. Це дає можливість оперативно визначити порушення та оцінити його вплив на появу кінцевої події. Оцінка адекватності структурних функцій здійснювалась шляхом порівняння результатів розрахунку моделі дерева та аналогічної структурно-логічної схеми. Розрахункова імовірність формування несанкціонованої команди: за логічною схемою – $3,33 \cdot 10^{-10}$, за моделлю дерева – $2,88 \cdot 10^{-10}$, розбіжність результатів не перевищує 16 %.

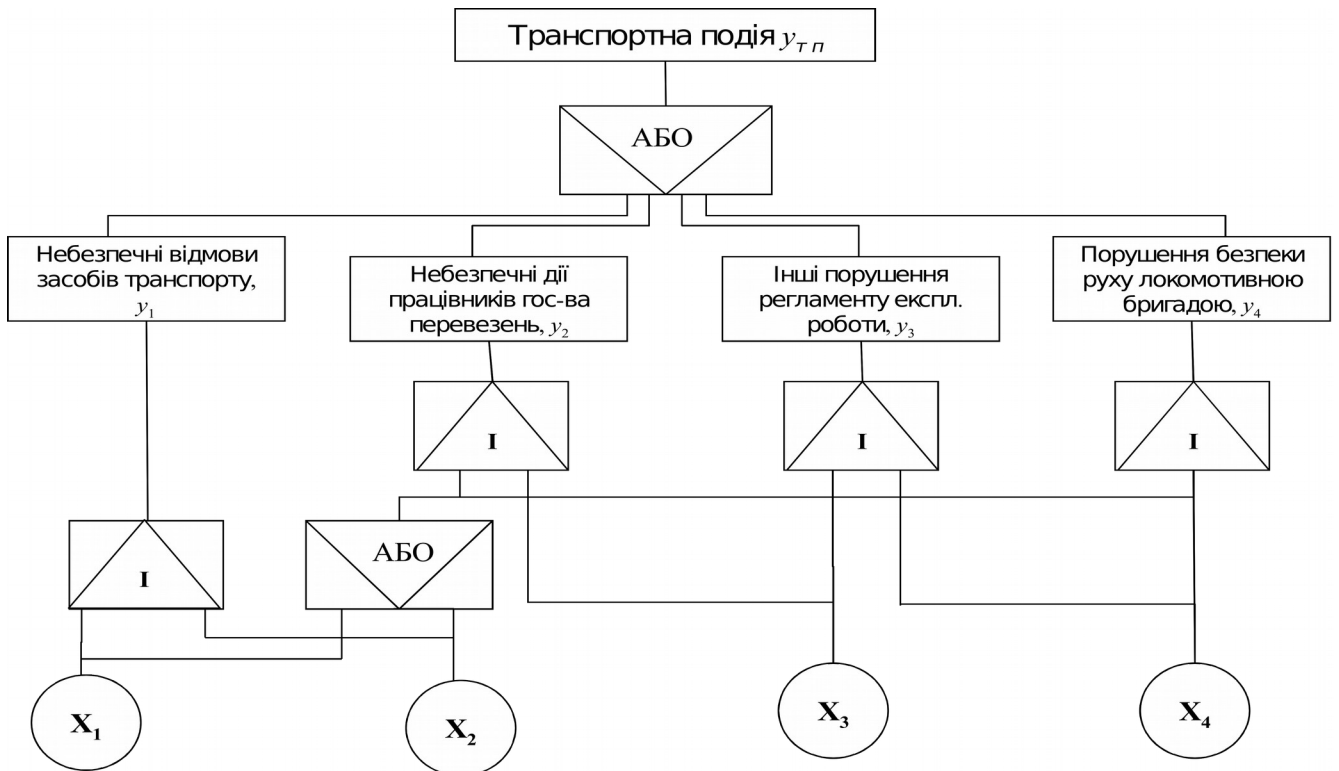


Рис. 8. Формалізоване дерево транспортної події

Наукові положення розділу повністю відображені в публікаціях [1, 8, 9, 12, 22, 38, 39]. Вказані моделі використані при розробленні прикладного програмного забезпечення мікропроцесорних систем керування рухом поїздів Донецької,

Південно-Західної залізниці та Київського метрополітену, що забезпечило оперативне виявлення й локалізацію порушень, зменшення на 16% витрат часу технічного штату на пошук пошкоджень.

У п'ятому розділі поставлені та вирішені науково–практичні завдання, пов'язані з формуванням оперативних показників безпеки. Визначені умови для критеріїв оцінок структурних моделей небезпечної $P \{ Y (x_1, x_2, \dots, x_m) = I \} = Q_n$; й безпечної $P \{ Y (x_1, x_2, \dots, x_m) = 0 \} = P_\sigma$ події СКЗА з бінарною логікою.

Гармонізовані функції небезпек моделей транспортних подій послідовного та паралельного типу з урахуванням специфіки роботи залізничного транспорту та особливостей поведінки систем залізничної автоматики при відмовах. Зокрема сформульовані критерії небезпечного та безпечного перебігу подій для різних видів структур мікропроцесорних систем керування залізничної автоматики:

$$\begin{array}{cc}
 Q_n = P \left(\bigwedge_{i=1}^n \left(\bigwedge_{j=1}^m x_{ij} \right) \right) = 1; & P_\sigma = P \left(\bigvee_{i=1}^n \left(\bigwedge_{j=1}^m \bar{x}_{ij} \right) \right) = 0; \\
 Q_n = P \left(\bigwedge_{k=1}^n x_k \right) = 1; & P_\sigma = P \left(\bigvee_{k=1}^n \bar{x}_k \right) = 0.
 \end{array}$$

Кінцева подія дерева Y визначається допоміжним бінарним параметром $\varphi(Y)$ ($\varphi(Y) = 1$ або $\varphi(Y) = 0$) з імовірністю очікуваного значення A_i : $P(Y_i) = P(A_i) = E(Y_i)$, тобто: $Q_n(t) = P(\text{кінцева подія}) = P[\varphi(Y_i) = 1]$. Отримана структурна функція формалізованого дерева транспортної події має чотири небезпечні збіги первинних порушень, які були визначені в процесі синтезу моделі, зображеної на рис.8

$$\begin{aligned}
 Q_n(x) = P_{\text{III}}(x) = 1 - [& (1 - P(x_1)P(x_2))(1 - (P(x_1) + P(x_2) - P(x_1)P(x_2)) \times \\
 & \times P(x_3))(1 - (P(x_1) + P(x_2) - P(x_1)P(x_2))P(x_4))], \quad (19)
 \end{aligned}$$

де $P(x_1), P(x_2), P(x_3), P(x_4)$ – імовірності первинних порушень безпеки x_1, x_2, x_3, x_4 .

Значимість окремої події визначається коефіцієнтом ζ_i з рівняння

$$\zeta_i = \frac{Q_n(x_i)}{Q_n(x_1) + Q_n(x_2) + \dots + Q_n(x_n)}. \quad (20)$$

У виразі (20) змінною $Q_n(x_i)$ позначені імовірності існування можливої кінцевої події при появі одного з n порушень. Отримані чисельні значення ризику виникнення транспортної події для галузевих та формалізованої моделі транспортної події, що підтверджується даними офіційної звітності. Шляхом декомпозиції складного дерева небезпечних порушень СКЗА довільної розмірності виділені базові складові елементи

у вигляді простих логічних функцій «І-АБО» та «АБО-І» на основі яких синтезовані структурні функції з n подіями у m мінімальних збігах

$$Q_1(t) = \prod_{j=1}^m (1 - x_{j1})(1 - x_{j2}) \dots (1 - x_{jn}), \quad Q_2(t) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - x_{j1}x_{j2} \dots x_{jn}). \quad (21)$$

Загальна структурна функція дерева довільної розмірності визначена на основі сформульованих критеріїв існування залізничної транспортної події для господарства сигналізації та зв'язку при поєднанні складових рівнянь з виразу (21)

$$Q_i(t) = \prod_{j=1}^m [1 - \prod_{l=1}^k (1 - \prod_{i=1}^n x_{jli})]. \quad (22)$$

Вираз (22) забезпечує визначення імовірності появи небезпеки в довільний момент часу t при n первинних подіях дерева, k збігах порушень та m можливих наборів порушень. Розроблена процедура автоматизованого розрахунку моделей скорочує на 25% витрати часу на аналіз причин і наслідків порушень.

Зважаючи на домінуючу роль небезпечних помилок людини–оператора, проведено дослідження властивостей відновлювати показники безпечного функціонування. На підставі припущення про здатність оператора здобувати та втрачати ресурс працездатності отримана оцінка інтенсивності небезпечних помилок при роботі з відпочинком

$$\lambda_0(t) = \frac{P(\tau, \mu)\lambda(t)}{1 - P(\tau, \mu) - e^{-\int_0^t \lambda_0(z) dz}} \quad (23)$$

де $P(\tau, \mu)$ – умовна імовірність успішної роботи оператора за час t з відпочинком. Тривалість відпочинку операторів визначається нерівністю (рис. 9)

$$\tau \leq \frac{1}{V} \ln P_D, \quad (24)$$

де V – інтенсивність відновлення;

P_D – допустима імовірність небезпечної помилки.

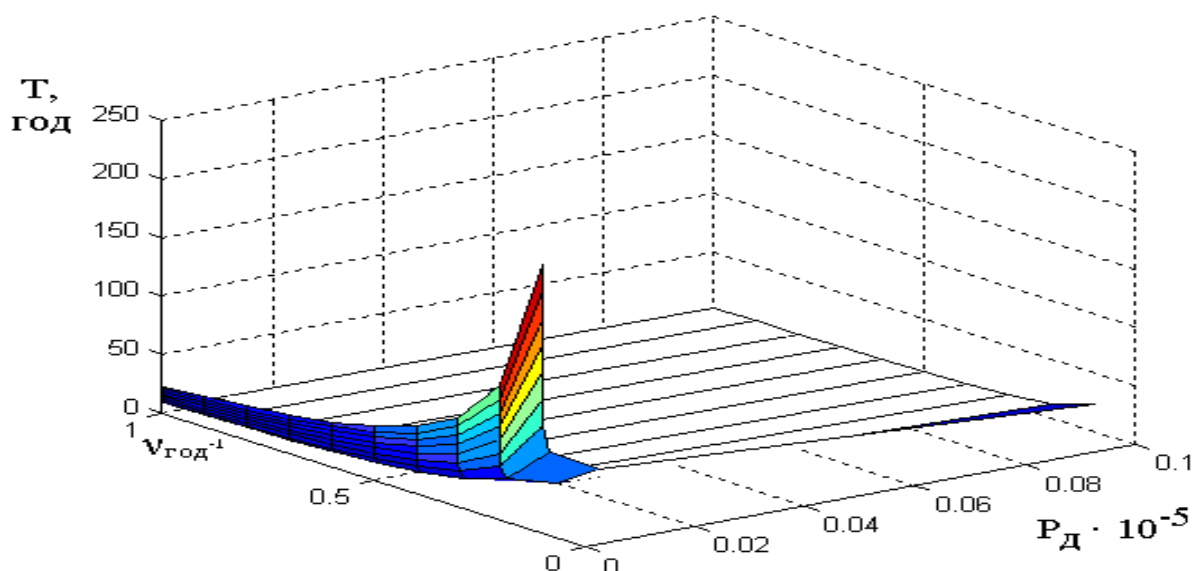


Рис. 9. Залежність тривалості відпочинку оператора від інтенсивності та встановленого рівня безпеки виконання основних функцій

Результати розрахунків показують, що рівень вимог P_0 порядку 10^{-7} є критичним для людини, відпочинок з інтенсивністю $0,3 \text{ год}^{-1}$ і менше не забезпечує відновлення безпечного функціонування оператора. Безпечні властивості на рівні вимог до 10^{-6} підтримуються при чергуванні праці і короткотермінових відпочинків з інтенсивністю процесу не менше $0,5 \text{ год}^{-1}$.

Отримані у даному розділі наукові результати забезпечили формування оперативних оцінок небезпек, що виникають у процесі функціонування систем залізничної автоматики, вони відображені у роботах [2, 4, 5, 21, 32, 34, 37].

У шостому розділі поставлені та вирішені завдання, пов'язані з ідентифікацією небезпечних подій в умовах невизначеності первинної інформації. Розроблені принципи формування комплексу нейромережних моделей небезпечних станів об'єктів керування та контролю систем станційної централізації. Базовою є загальна нейромережна модель поїзної ситуації, яка складається з моделей функціонування окремих пристроїв, порушень і транспортної події. Інформація про первинні порушення надходить від систем нижнього рівня. Фрагмент нейромережної моделі системи з [18,19] має 7 нейронів на вході (кількість вхідних сигналів), 3 на виході (кількість керуючих виходів) та один схований шар (рис. 10).

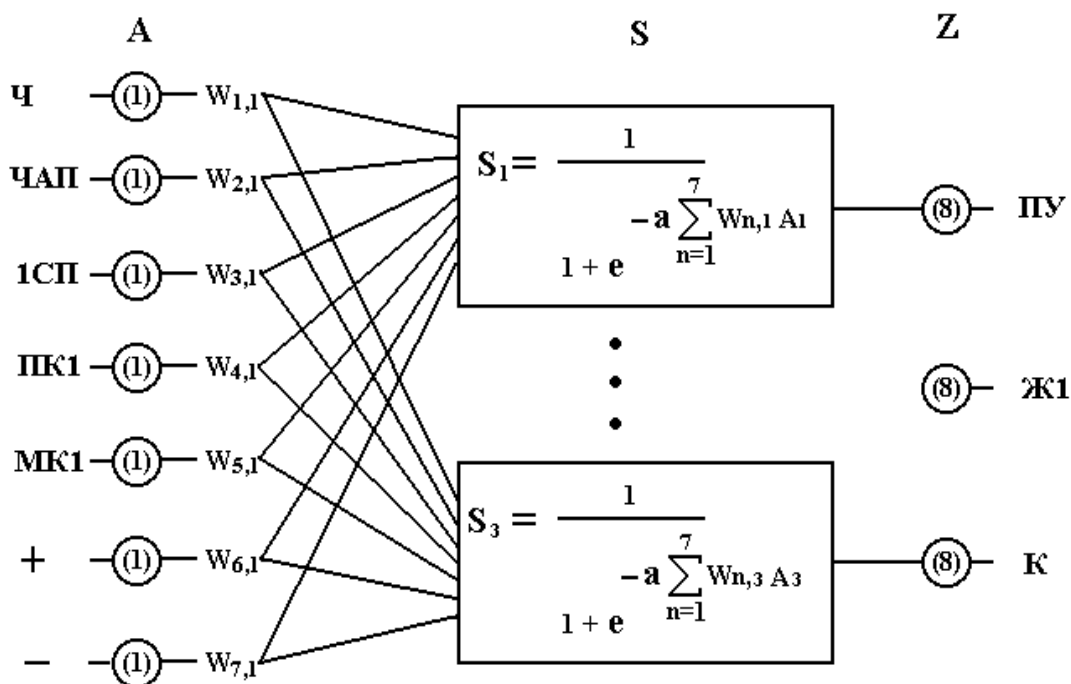


Рис. 10. Фрагмент нейромережної моделі станційної автоматики

Нейрони першого шару А здійснюють масштабування вхідних сигналів сигмоїдальною функцією з синаптичними вагами у діапазоні $\{0,1\}$

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + rg_j x_i,$$

де w_{ij} – вага від нейрона, або від елемента вхідного сигналу i у момент часу t ;

x_i – вихід нейрона i або i -й елемент вхідного сигналу;

r – крок навчання;

g_j – значення помилки нейрона j .

На основі інформаційної бази даних розроблені моделі функціонування окремих пристроїв та систем станційної автоматики. Функціонування визначених об'єктів задається у вигляді вказаного нечіткого співвідношення з елементами r_{ij} функції належності $\mu < x_i, x_j >$ з n_{ik} переходами та N станами

$$r_{ik} = \frac{n_{ik} \mu(x, a, b)}{\sum_{j=1}^N \mu_{jk}}, \quad (25)$$

де μ – функції належності;

n_{ik} – чисельність переходів;

x, a, b – керовані змінні.

Таке подання є теоретико-множинним та збігається зі змістом бінарного відношення, яке задане на множині X . Нижче наведений приклад функції належності

та значення ознаки "хибна вільність" n_k для ділянки колії, змінними якої є тривалість часу зайнятого і вільного станів та відповідні нормуючі параметри для визначених змінних:

$$\mu(x, a, b) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \leq a; \\ \frac{a-x}{a-b}, & \text{якщо } a < x < b; \\ 0, & \text{якщо } x \geq b. \end{cases} \quad n_k = \sum_{i=1}^N \mu(x, a, b). \quad (26)$$

Аналогічним чином визначаються небезпечні стани інших пристроїв станційної автоматики. Моделі являють собою орієнтовані графи з множиною вершин $X = \{x_i\}$, $i \in I = (1, 2, \dots, n)$ і нечіткою множиною орієнтованих ребер

$$F = \{ \langle \mu_F \langle x_i, x_j \rangle \rangle \},$$

де $\langle x_i, x_j \rangle \in X^2$, причому вершина x_i є початком, а x_j – кінцем дуги;

$\mu_F \langle x_i, x_j \rangle$ – значення функції належності μ_F для дуги $\langle x_i, x_j \rangle$.

Вказане зображення графа також є теоретико-множинним й визначається бінарним співвідношенням $\varphi = (X, F)$ на множині X .

Функціонування об'єктів залізничної автоматики задається у вигляді нечіткого відношення $\tilde{\varphi}$ з функцією належності, елементи якої r_{ij} визначаються за таким рівнянням:

$$r_{ij} = \frac{n_{ik}}{\sum_{j=1}^N n_{ik}},$$

де n_{ij} – чисельність прямих переходів об'єкта з i -го до k -го стану;

N – число станів, починаючи з j -го.

У кінцевому вигляді вказане подання задається матрицею суміжності на основі статистичних даних за фіксований період експлуатації. Аналогічним чином на основі теоретичних уявлень формується апріорна модель у вигляді нечіткого співвідношення $\psi = (X, F)$.

Стан безпеки визначається ступенем відповідності відносин $\tilde{\varphi}$ та $\tilde{\psi}$

$$\mu_{F\langle\varphi,\varphi\rangle} = \& \left(\mu_{F\langle x_i;x_j\rangle} \diamond \mu_{F\langle x_i^*;x_j^*\rangle} \right), \quad (27)$$

де $\langle x_i;x_j\rangle$ та $\langle x_i^*;x_j^*\rangle$ – відповідно нормативні та реальні значення параметрів спостереження об'єктів керування.

Чисельні значення $\mu_{F\langle\varphi,\varphi\rangle}$ перебувають в інтервалі 0...1 й фактично визначають, наскільки робота елемента в реальних умовах експлуатації відрізняється від паспортних. На основі аналізу даних про роботу пристроїв станційної автоматики ділянки Київ-Фастів Південно-Західної залізниці встановлено критерії оцінок і визначено граничний показник $\mu_{F\langle\varphi,\varphi\rangle}$ для безпечної роботи на рівні 0,9. Реалізація комплексу нейромережних моделей, при вирішенні завдань оперативного виявлення небезпечних подій у системах керування залізничної автоматики, показала їх здатність забезпечувати сталу роботу за умов перебоїв та спотворень, що мають місце у первинній інформації напільного обладнання.

Отримані наукові результати відображені у роботах [1, 18, 19, 23].

У сьомому розділі поставлені та вирішені науково-практичні питання підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики.

Запропоновано концепцію підвищення безпеки систем залізничної автоматики. Показано, що в сучасних умовах функціонування залізничного транспорту підвищення рівня безпеки може бути досягнуто шляхом створення багаторівневої системи оперативного керування та автоматичного контролю за безпекою руху з вирішенням в єдиному комплексі завдань мінімізації втрат та попередження аварійних ситуацій на більш ранній стадії. Система забезпечує виявлення, фіксацію, оцінку порушень, їх блокування та локалізацію. Розроблений метод оперативної локалізації небезпечних подій, які виникають внаслідок ушкоджень техніки та помилок операторів у системах керування рухом поїздів та засобах безпеки. При появі порушення A_i , яке належить до множини (A_1, A_2, \dots, A_n) можливих для даної системи небезпек, виділяються події–супутники (a_1, a_2, \dots, a_m) , які спільно з A_i можуть призвести до аварії. Після цього здійснюється блокування всіх команд керування, які можуть сприяти появі подій підмножини (a_1, a_2, \dots, a_m) . Метод реалізований шляхом зворотного ходу базової моделі роботи системи. Синтезована процедура оперативної локалізації небезпек при впровадженні в мікропроцесорних системах керування рухом поїздів забезпечується виконанням відповідальних функцій. Окремо розглянуті концептуальні питання підвищення безпеки систем гіркової централізації, які не мають захисного стану. Зокрема, теоретично обґрунтовано метод безпечного гальмування на основі адекватності кінетичної

енергії відчепа гальмівному зусиллю уповільнювача. На основі рівняння руху колеса вагона на гальмівній позиції сформульовані принципи безпечного гальмування відчепа. В загальному вигляді вони визначають гальмівне зусилля F_2 відповідно до енергетичної характеристики відчепа

$$F_2 = m_p \cdot g \cdot \sin \alpha - \frac{m_p \cdot V^2}{4H} \cdot \sin \alpha, \quad (28)$$

де m_p – ефективна маса колеса вагона;

k_3 – коефіцієнт захвату колеса гальмовими шинами;

H – висота гірки.

Розроблена процедура безпечного гальмування, яка передбачає поступове зменшення зусилля гальмування, що запобігає витисканню легких відчепів та відповідно зменшує маршрутний брак при помилкових діях операторів.

На засадах основних теоретичних положень дисертаційної роботи сформульовані принципи підвищення безпеки мікропроцесорних систем централізації. Запропоновані структури систем МПЦ з покращеними експлуатаційними властивостями, що враховують особливості технологічного процесу роботи станції. Крім того, вони мають покращені показники з безпеки за рахунок впровадження активного моніторингу стану та гарантованого виключення ушкодженого елемента. Теоретично обґрунтовані принципи побудови й розроблення технічних рішень щодо модернізації схем керування стрілочним електроприводом електричної та автоматичної гіркової централізації з використанням асинхронного електродвигуна. У порівнянні з існуючими, вони забезпечують реалізацію більш широких функціональних можливостей, зменшується час на пошук і локалізацію ушкоджень, що сприяє підвищенню безпеки використання станційної та гіркової централізації, створює методологічну базу для побудови автоматизованої системи оперативного керування безпекою руху.

Результати науково-практичних розробок відображені в роботах [10, 13, 16, 20, 24–26, 27, 28, 33, 35, 36, 43–46], вони впроваджені на станціях Південно-Західної та Донецької залізниць і Київському метрополітені, використовуються при розробленні регулюючих документів Укрзалізниці та у навчальному процесі УкрДАЗТу.

У додатках містяться приклади використання розроблених методів і моделей, деталізація окремих теоретичних положень дисертації та акти впровадження.

ВИСНОВКИ

У дисертації проведені теоретичні узагальнення й отримані перспективні рішення науково - практичної проблеми підвищення безпеки використання систем керування

залізничної автоматики шляхом оперативного виявлення, оцінки й локалізації порушень. На основі здійсненого аналізу наукових досліджень безпеки розроблені нові методи, моделі та процедури, які у сукупності забезпечують виявлення й локалізацію порушень на більш ранній стадії, зменшують витрати часу персоналу на пошук, локалізацію й усунення причин їх виникнення.

На основі проведеного дослідження можна зробити такі висновки.

1. Визначено закономірності зміни чисельності порушень за часом: зокрема встановлено, що при наявності сталої тенденції характер їх змін за роками визначається кривою третього порядку; реалізації показників місячної звітності мають випадковий характер, і в межах одного-двох років проявляють властивості стаціонарності й відсутності післядії, підтверджена гіпотеза про нормальний закон їх розподілення з оцінкою 0,025 за критерієм Персона; формалізований процес формування корегувальної дії системи безпеки, як реакції на виникаючі порушення, зокрема встановлене критичне значення рівня фізичного зносу основних засобів СКЗА на рівні 85 %, й часу перебування у нештатному стані 1,5 год, при якому можливе формування оперативної реакції на порушення; визначені основні принципи функціонування системи оперативної безпеки, що забезпечило розроблення заходів з підвищення безпеки для служби сигналізації та зв'язку Донецької залізниці.

2. Запропоновано новий науковий підхід до виявлення передумов аварійних ситуацій процесу використання систем керування залізничної автоматики, встановлено, що їх поведінка у збуреному стані може бути подана біфуркаційною множиною точок на поверхні катастрофи збірки, для якої визначені критерії формування оцінок стану безпеки; запропонована процедура моніторингу, за рахунок чого враховується більша кількість факторів впливу, з відносною похибкою у межах 19-25% забезпечується виявлення небезпек і їх можливих негативних наслідків на більш ранній стадії.

3. Розроблено комплекс моделей небезпечних станів, окремих порушень та транспортних подій у системах станційної автоматики, зокрема: дискретно-детермінованих, логіко-імовірнісних та нейромережних моделей для оперативного виявлення порушень у мікропроцесорних системах залізничної автоматики. Запропоновані моделі враховують більшу кількість небезпечних факторів з їх взаємною дією, мають можливість оперативного визначення кількісної складової безпеки та її значення для формування кінцевої події з похибкою на рівні 16%. Забезпечується стає функціонування систем керування за умов невизначеності, яка існує в похідній інформації від напільного обладнання. Впровадження вказаних моделей у системах автоматики на Південно-Західній, Донецькій залізницях та Київському метрополітені дозволило підвищити оперативність реагування на порушення безпеки руху поїздів за рахунок зменшення витрат часу технічного персоналу на пошук пошкоджень.

4. Удосконалено метод оцінювання стану безпеки руху шляхом аналізу поведінки першої похідної функції, що апроксимує зміну показників звітності, та метод ранжирування небезпечних факторів на основі нечіткої лінгвістичної змінної. На відміну від відомих, вони забезпечують розширення можливостей наукового аналізу заходів з підвищення безпеки засобів залізничної автоматики, зняття існуючих обмежень на похідні дані при відносній похибці отриманих результатів у середньому до 5–7 % для підрозділів залізниці. В сукупності результати вказаних теоретичних розробок використані при створенні регулюючих документів Укрзалізниці з безпеки використання систем керування залізничної автоматики.

5. Удосконалено метод визначення впливу порушень на складові процесу використання засобів станційної автоматики, зокрема визначені критичні значення інтенсивностей небезпечних подій на рівні $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$ для забезпечення експлуатаційної роботи станції та $9 \cdot 10^{-4} \text{ год}^{-1}$ для робіт з технічного обслуговування. Отримані теоретичні результати, на відміну від відомих, є більш універсальними, вони були використані при розробленні організаційно-технічних заходів з підвищення безпеки, що забезпечило зменшення на 1,7% кількості порушень по службі сигналізації та зв'язку Донецької залізниці у період з 2008 по 2009 роки.

6. Удосконалено модель станів процесу використання засобів станційної автоматики за рахунок виділення окремого нештатного запланованого стану для контролю безпеки робіт з технічного обслуговування, ремонту та відновлення після ушкоджень, що, на відміну від існуючих, забезпечує врахування специфіки функціонування систем із захисним станом і дозволяє визначити імовірну оцінку часу очікування транспортної події з відносною похибкою близько 18 %.

7. Розвинуто теоретичні положення оперативного визначення стану безпеки використання елементів та систем керування залізничної автоматики, зокрема сформульовані критерії кількісної оперативної оцінки безпеки у вигляді структурних функцій і нечітких змінних, які, на відміну від існуючих, враховують можливі наслідки порушень та забезпечують виконання кількісного аналізу небезпек у режимі, наближеному до реального часу з відносною похибкою до 15% за умов існуючого в інформаційному забезпеченні систем керування рівня завад. Розроблена автоматизована система аналізу та розрахунку показників безпеки пристроїв автоматики, застосування якої при проведенні досліджень безпечних властивостей мікропроцесорних систем залізничної автоматики дозволило на 25% зменшити витрати часу персоналу.

8. Запропоновано концепцію підвищення безпеки використання пристроїв та систем керування залізничної автоматики й формування корисного результату їх функціонування на основі врахування складових функцій; отримані співвідношення, що характеризують точність розпізнавання образу середовища залежно від кількості функцій, що виконує система, які забезпечили наукове обґрунтування розширення

функціональних можливостей та підвищення безпеки програмно-апаратних засобів мікропроцесорних пристроїв і систем залізничної автоматики. Отримані у роботі результати впроваджені на Південно-Західній, Донецькій залізницях, Київському метрополітені, на підприємствах «НВП ТОВ «Залізничавтоматика», «НВП ТОВ «Харзалізничтранс-АС» та у навчальному процесі УкрДАЗТу (м. Харків).

Сумарний економічний ефект від впровадження результатів роботи, підтверджений актами впровадження, складає 1152 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці

1. Мойсеєнко В. І. Моделирование технологических процессов в системах железнодорожной автоматики / В. И. Мойсеєнко, В. И. Поддубняк, М. Н. Чепцов // Київський інститут інженерів залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Київ, 1999. – №3. – С. 66 – 73.

2. Мойсеєнко В. І. Оценка восстанавливаемости операторов автоматизированных систем управления / В. И. Мойсеєнко // Донецький інститут інженерів залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2005. – №3. – С. 12 – 19.

3. Мойсеєнко В. І. Аналіз та програмування стану безпеки руху поїздів / В. І. Мойсеєнко, О. В. Головка // Донецький інститут інженерів залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2005. – №4. – С. 5 – 13.

4. Мойсеєнко В. І. Использование тренажеров для обучения операторов систем управления на железнодорожном транспорте / В. И. Мойсеєнко, А. В. Шандриков // Українська державна академія залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – №68. – С. 100 – 108.

5. Мойсеєнко В. І. Функції ризиків втрат для оцінки безпеки залізничного транспорту / В. І. Мойсеєнко // Українська державна академія залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – № 69. – С. 26 – 32.

6. Мойсеєнко В. І. Структурный синтез управления безопасностью как системная парадигма / В. И. Мойсеєнко // Донецький інститут інженерів залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2006. – №6. – С. 27 – 31.

7. Мойсеєнко В. І. Основы системного подхода к безопасности железнодорожного транспорта / В. И. Мойсеєнко // Донецький інститут інженерів залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2006. – №7. – С. 5 – 14.

8. Мойсеєнко В. І. Синтез математичних моделей функціонування технічних засобів залізничної автоматики/ В. І. Мойсеєнко, В. В. Радченко // Українська державна академія залізничного транспорту. Збірник наукових праць.– Харків: УкрДАЗТ, 2006. – №72. – С. 103 – 108.

9. Мойсеенко В. И. Моделирование поездной ситуации для информационно-управляющих систем железнодорожного транспорта / В. И. Мойсеенко, В. В. Радченко // Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту. залізнич. тр-ту ім. акад. В.Лазаряна. – Дніпропетровськ.: Вид-во Дніпропетровського нац. ун-ту залізнич. тр-ту ім. акад. В. Лазаряна, 2006.– Вип.11.– С.87 – 92.

10. Мойсеенко В. И. Модернизация стрелочных переводов постоянного тока путем применения частотно-управляемого привода / В. И. Мойсеенко, С. Г. Буряковский, А. А. Рафальский, В. В. Смирнов // Дніпродзержинський держ. техн. ун-т. Збірник наукових праць. – Дніпродзержинськ: Дніпродзержинський держ. техн. ун-т, 2007. – С. 338 – 339.

11. Мойсеенко В. И. Ранжирование опасностей с нечеткими зонами межранговых переходов / В. И. Мойсеенко, В. М. Бутенко, А. В. Головки // Донецький інститут інженерів залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – Вип. 14. – С. 64 – 73.

12. Мойсеенко В. І. Моделювання станів залізничної транспортної системи / Мойсеенко В. І. // Донецький інститут інженерів залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2008. – №13. – С .50 – 56.

13. Мойсеенко В. І. Впровадження сучасних інформаційних технологій в системах керування рухом поїздів на малодіяльних ділянках залізниць / В. І. Мойсеенко, С. В. Кошевий, Д. О. Зубрицький // Українська державна академія залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 92. – С. 127 –130.

14. Мойсеенко В. І. Аналіз існуючих методів оцінки конструкції гіркових горловин / В. І. Мойсеенко, О. В. Розсоха // Українська державна академія залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Вип. 102. – С. 24 – 31.

15. Мойсеенко В. И. Влияние нарушений безопасности на техническую эффективность использования средств транспорта / А. А. Сосунов, В. И. Мойсеенко // Донецький інститут інженерів залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2009. – Вип.17. – С. 61 – 67.

16. Мойсеенко В. І. Локалізація небезпечних подій процесу використання засобів залізничного транспорту / В. І. Мойсеенко // Українська державна академія залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип.114. – С. 22 – 24.

17. Мойсеенко В. І. Удосконалення методу визначення стану та ресурсу пристроїв залізничної автоматики / В.І. Мойсеенко, О.В. Лазарєв // Донецький інститут інженерів залізничного транспорту. Збірник наукових праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – №21. – С.63 – 70.

18. Мойсеенко В. И. Моделирование поездной ситуации на станции / В. И. Мойсеенко, М. Н. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1998. – №6. – С. 6 – 8.

19. Мойсеенко В. И. Использование нейронных сетей для моделирования в системах диспетчерской централизации / В. И. Мойсеенко, М. Н. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – №3. – С. 38–42.

20. Мойсеенко В. И. Компьютерная система управления движением поездов / В. И. Мойсеенко, В. М. Бутенко, Д. М. Кузьменко // Залізничний транспорт України. – 2000. – №5 – 6. – С. 80 – 82.

21. Мойсеенко В. И. Проблемы интерпретации информации в современных системах железнодорожной автоматики, диспетчерского управления и контроля / В. И. Мойсеенко, В. И. Поддубняк, С. А. Радковский // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – №2. – С. 54 – 57.

22. Мойсеенко В. И. Моделирование состояний объектов железнодорожной автоматики / В. И. Мойсеенко, В. И. Поддубняк, В. М. Бутенко, С. А. Радковский // Інформаційно - керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. №4. – С.40 –44.

23. Мойсеенко В. И. Определение технического состояния объектов железнодорожной автоматики с применением теории нечетких множеств / В. И. Мойсеенко, В. И. Поддубняк, В. М. Бутенко, С. А. Радковский // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – №6. – С. 33 – 37.

24. Мойсеенко В. И. Программное обеспечение релейно - микропроцессорной централизации станции Техническая Киев-Пассажирский / В. И. Мойсеенко, Д. М. Кузьменко, А. Г. Монастырский, М. В. Азаров, А. Н. Скалозубов // Залізничний транспорт України. – 2002. – №6. – С. 38 – 41.

25. Мойсеенко В. И. Принципы построения релейно-микропроцессорной централизации на технической станции Киев - Пассажирский / В. И. Мойсеенко, А. Ф. Майборода, Д. М. Кузьменко // Залізничний транспорт України. – 2002. – №3. – С. 36 – 38.

26. Мойсеенко В. И. Схемные решения релейно - микропроцессорной централизации станции Техническая Киев - Пассажирский / В. И. Мойсеенко, Н. В. Поэта, Д. М. Кузьменко // Залізничний транспорт України. – 2002. – №5. – С. 31 – 34.

27. Мойсеенко В. И. Совершенствование системы обеспечения безопасности движения поездов / В. И. Мойсеенко // Залізничний транспорт України. – 2003. – №4. – С. 20 – 23.

28. Мойсеенко В. И. Синтез алгоритму адаптивного управління електроприводом стрілочного переводу / В. И. Мойсеенко, К. Я. Щербак // Інформаційно - керуючі системи на залізничному транспорті. – 2004. – № 4, 5. – С. 31–34.

29. Мойсеенко В. И. Оценка безопасности движения по рискам потерь / В. И. Мойсеенко // Залізничний транспорт України. – 2004. – №1. – С. 14 – 16.

30. Мойсеєнко В. І. Транспортная система как объект нормирования и оценки безопасности / Г. И. Загарий, В. И. Мойсеєнко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – №2. – С. 26 –31.

31. Мойсеєнко В. І. Влияние системной мобилизации на характер изменения числа нарушений безопасности и ее связь с научными и практическими задачами / В. И. Мойсеєнко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2006. – Вип. 5(6). – С. 3 – 6.

32. Мойсеєнко В. І. Кількісна оцінка результатів моделювання дерев подій / В. І. Мойсеєнко, О. В. Головка, С. А. Василенко, В. М. Бутенко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008. – №1. – С. 20 – 23.

33. Мойсеєнко В. І. Застосування керованого частотного електропривода в стрілочному переводі / В. В. Смірнов, С. Г. Буряковський, В. І. Мойсеєнко, Р. В. Семчук, Ф. О. Демченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. –2009. – №4. – С. 105–108.

34. Мойсеєнко В. І. Метод оперативної ідентифікації та оцінки порушень / В. І. Мойсеєнко, С. І. Василенко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2009. – №5. – С. 3 –7.

35. А.с.1794746 СССР. МКИ В61 L 17/00 Способ управления торможением отцепа / А. М. Долаберидзе, В. И. Мойсеєнко (СССР). – № 4686161; Заявл. 03.05.89; опубл. 15.02.93, Бюл. № 6.

36. Пат. №32964 Україна, МПК Н 03 К 17/60. Комутаційний пристрій – оптоелектронний аналог електромагнітного реле / В. І. Мойсеєнко, В. М. Бутенко, С. Г. Чуб; Заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № U200800478; заявл. 14.01. 08; опубл. 10.06.08, Бюл. №11.

Додаткові праці

37. Мойсеєнко В. І. Вопросы обучения операторов автоматизированных систем управления на железнодорожном транспорте / В. И. Мойсеєнко, А. В. Шандриков // Тезисы 65 Международной научно-практической конференции ”Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта”.– Днепропетровск: Днепропетровский национальный университет жел. дор. тр–та им. акад. В. Лазаряна .– 2005.– С. 316 – 317.

38. Мойсеєнко В. І. Моделювання небезпечних подій з використанням апарата схем функціональної цілісності / В. І. Мойсеєнко // Наука в транспортному вимірі: матеріали Міжнародної науково - практичної конференції (Київ, 11–13 травня 2005р.).– МТЗ України, Державна адміністрація залізничного транспорту, ДНДЦ ЗТ , Східноукраїнський національний університет. – С. 7.

39. Мойсеєнко В. І. Моделирование и оценка безопасности транспортных систем / В. І. Мойсеєнко, В. М. Бутенко, А. В. Головка // Тезиси докладов Международной научно - практической конференции ” Проблемы безопасности на транспорте” (респ. Беларусь, БелГУТ, 2005 г.). – С. 158.

40. Мойсеєнко В. І. Про співвідношення розмірності та толерантності систем безпеки на залізниці / В. І. Мойсеєнко // Тези доповіді міжнародної конференції з управління ”Автоматика - 2006”.– Вінниця: Вінницький національний технічний університет. – 2006. – С. 229.

41. Мойсеєнко В. І. Метод оцінки стану безпеки руху поїздів / В. І. Мойсеєнко // Перспективи впровадження технічних засобів безпеки руху на залізницях України: Збірник текстів виступів на науково–практичній конференції (Луганськ, 8 – 10 вересня 2009р.). – Донецька залізниця. – 2009.– С. 24 – 26.

42. Мойсеєнко В. І. Моніторинг стану безпеки руху / В. І. Мойсеєнко // Тезиси 70 Международной научно–практической конференции ”Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта”.– Днепропетровск: Днепропетровский национальный университет жел. дор. тр–та им. акад. В. Лазаряна. – 2010. – С. 5 – 6.

43. Мойсеєнко В. І. Мікропроцесорні системи залізничної автоматики / В. І. Мойсеєнко : Навчальний посібник (для студентів вищих навчальних закладів). – Харків: Регіон-інформ, 1999. – 147с.

44. Мойсеєнко В.І. Програмуєми контролери для систем управління. Часть 1. Архитектура и технологии применения. / Г. И. Загарий , В. И. Ковзель, В. И. Мойсеєнко, В. И. Поддубняк и др.: Учеб. пособие для вузов. – Харьков: ХФИ “Транспорт Украины”, 2001. – 219с.

45. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв автоматизованих та механізованих сортувальних гірок: ШЦ 0048. 2006. – Офіц. вид. – К.: Укрзалізниця: МТЗ України, 2006. – 155с. (Нормативний документ Державної адміністрації залізничного транспорту МТЗ України. Інструкція, автори: Д. Ломотько, О. Майборода, В. Мойсеєнко, К. Трубочанінова).

46. Типовий проект організації роботи ремонтно–технологічної дільниці дистанції сигналізації та зв'язку: ЦШ 0046. 2006. – Офіц. вид. – К.: Укрзалізниця: МТЗ України, 2006. – 120с. (Нормативний документ Державної адміністрації залізничного транспорту МТЗ України. Інструкція, автори: Л. Кібальник, О. Майборода, В. Мойсеєнко, М. Приймак).

АНОТАЦІЯ

Мойсеєнко В.І. “Методи та моделі підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики шляхом оперативного виявлення порушень” – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20–експлуатація та ремонт засобів транспорту, Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2011.

Дисертацію присвячено вирішенню науково - прикладної проблеми підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики шляхом оперативного виявлення передвісників порушень, формування критеріїв кількісних і якісних оцінок та корегувальних дій, направлених на локалізацію небезпечних факторів й усунення причин їх виникнення.

Запропоновано новий науковий підхід до виявлення передаварійних ситуацій. Удосконалені методи оцінювання стану безпеки руху. Розроблено комплекс моделей небезпечних станів, подій та процесів, які спільно із запропонованими методами та критеріями формування оцінок можливих негативних наслідків порушень забезпечили формування наукової концепції підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики на основі оперативного виявлення порушень.

Ключові слова: залізничний транспорт, системи керування залізничної автоматики, безпека використання, транспортні події, порушення, безпеки, ризику, методи та моделі порушень безпеки.

АННОТАЦІЯ

Мойсеєнко В.И. “Методы и модели повышения безопасности использования систем управления железнодорожной автоматики путем оперативного выявления нарушений” – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2011.

Диссертация посвящена решению научно - прикладной проблемы повышения безопасности использования систем управления железнодорожной автоматики путем оперативного выявления предвестников нарушений, формирования критериев количественных и качественных оценок и корректирующих действий, направленных на локализацию опасных факторов и устранения причин их возникновения.

На основе исследования системных свойств устройств управления железнодорожной автоматики, в части безопасности их использования, определены

характеристики изменения числа нарушений, установлены критические значения их интенсивностей для эксплуатационной работы и технического обслуживания, теоретически обосновано формирование корректирующего действия как реакции на транспортные события при предельном уровне физического износа основных средств систем управления железнодорожной автоматикой.

Предложен новый научный подход выявления предаварийных ситуаций процесса использования систем железнодорожной автоматикой путем их представления множеством точек на поверхности катастрофы, что обеспечило определение предпосылок возникновения нарушений.

Усовершенствованы методы оценивания состояния безопасности движения путем определения характера изменений показателя отчетности и ранжирования опасностей на основе нечеткой лингвистической переменной. Это позволило снять существующие ограничения на входные данные, расширить возможности анализа и обеспечить формирование оперативных мероприятий, направленных на повышение безопасности движения.

Разработан комплекс моделей опасных состояний, событий и процессов на базе ориентированных графов, структурных моделей с дискретной логикой и нейросетевых моделей опасных событий, которые совместно с предложенными методами и критериями формирования оценок возможных негативных последствий нарушений обеспечили уменьшение затрат времени персонала на поиск и локализацию повреждений.

Получили последующее развитие теоретические положения повышения безопасности использования средств железнодорожной автоматикой на основе оперативного выявления нарушений. Разработан метод локализации нарушений, сформулирована концепция повышения безопасности микропроцессорных устройств и станционных систем управления движением поездов. Внедрение результатов диссертационной работы на Юго-Западной, Донецкой железных дорогах и КП «Киевский метрополитен» обеспечило повышение безопасности движения за счет уменьшения затрат времени персонала на поиск и локализацию нарушений.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, системы управления железнодорожной автоматикой, безопасность использования, транспортные события, нарушения, опасности, риски, методы и модели нарушений безопасности.

ANNOTATION

Moyseenko V.I. “ Methods and models to increase safety of railway automation control systems by day-to-day emergency detection”. – Manuscript.

The Dissertation on Doctor of Engineering Sciences degree, 05.22.20 speciality – maintenance and repair of rail facilities, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, 2011.

The dissertation deals with the issue of higher safety of railway automation control systems by day-to-day emergency detection, formation of criteria and qualitative estimation and corrective actions, aimed at positioning emergency factors and elimination of their occurrence.

It has been proposed a new scientific approach regarding pre-emergency situations, improved estimation methods of traffic safety. It has been developed a set of models of emergency situations, events and processes, along with proposed methods and estimation criteria of possible negative consequences of emergencies that makes it possible to form scientific concept to increase safety of rail automation control systems based on day-to-day emergency detection.

Key words: rail transport, rail automation control systems, safety, emergencies, risks, methods and models of safety failure

Мойсеєнко Валентин Іванович

УДК 656.25:681.05.015

**МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ
ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ
АВТОМАТИКИ ШЛЯХОМ ОПЕРАТИВНОГО ВИЯВЛЕННЯ
ПОРУШЕНЬ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Відповідальний за випуск

Абакумов О.А.

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 23.03.2011 року
Формат паперу А5 Папір офсетний
Умовн. друк. арк. 1,8 Обл. вид. арк. 2,0
Замовлення № 115 Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007
Друкарня УкрДАЗТу, 61050, м. Харків, площа Фейсрбаха, 7