

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

На правах рукопису

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

Дисертація на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Науковий консультант
Бойнік А.Б. д.т.н. проф.

Харків 2011

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ	16
1.1. Аналіз стану наукової проблеми підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики	16
1.2. Безпека використання систем керування залізничної автоматики як об'єкт дослідження	22
1.3. Аналіз дестабілізуючих факторів та порушень безпеки руху	37
Висновки до розділу 1	50
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ	52
2.1. Формулювання цільової функції роботи	52
2.2. Визначення закономірностей зміни чисельності порушень в процесі використання систем керування залізничної автоматики	59
2.3. Дослідження системоутворюючих відносин у системах керування залізничної автоматики при виконанні окремої функції	67
2.4. Формалізація поведінки корегувальної дії системи безпеки при граничних показниках фізичної зношеності засобів автоматики	71
2.5. Дослідження впливу порушень на складові процесу використання пристроїв станційної автоматики	83
2.6. Розробка наукового підходу визначення передаварійних ситуацій процесу використання систем керування	

залізничної автоматики	91
Висновки до розділу 2	106
РОЗДІЛ 3. ФОРМУЛЮВАННЯ РЕГУЛЮЮЧИХ ВИМОГ ДО ПОКАЗНИКІВ НЕБЕЗПЕЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	109
3.1. Мотивація небезпечної діяльності та управління ризиками	109
3.2. Ранжирування небезпек процесу використання систем керування залізничної автоматики з використанням нечіткої логіки	120
3.3. Теоретичні засади встановлення регулюючих вимог до оперативної оцінки стану безпеки руху	130
Висновки до розділу 3	141
РОЗДІЛ 4. КОМПЛЕКС МОДЕЛЕЙ НЕБЕЗПЕЧНИХ СТАНІВ, ПРОЦЕСІВ, ТА ТРАНСПОРТНИХ ПОДІЙ	143
4.1. Формалізація методів моделювання порушень в системах залізничної автоматики	143
4.2. Дискретно-стохастичні моделі небезпечних станів пристроїв станційної автоматики	153
4.3. Схемно-логічні моделі процесу використання засобів залізничної автоматики	162
4.4. Структурні моделі залізничних транспортних подій	172
4.5. Визначення адекватності моделей та коректності отриманих результатів	181
Висновки до розділу 4	186
РОЗДІЛ 5. ФОРМУВАННЯ ОПЕРАТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ	189
5.1. Передумови оцінки кінцевих подій структурних моделей порушень з дискретною логікою	189
5.2. Формування оперативних оцінок небезпечних подій	194

5.3. Дослідження безпечних властивостей операторів у системах керування залізничної автоматики	202
Висновки до розділу 5	211
РОЗДІЛ 6. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОЦІНКА НЕБЕЗПЕЧНИХ СТАНІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ ЗА УМОВ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПЕРВИННОЇ ІНФОРМАЦІЇ	213
6.1. Нейромережні моделі систем керування залізничної автоматики	213
6.2. Принципи формування нечітких оцінок небезпечних станів об'єктів залізничної автоматики	241
6.3. Нечіткі оцінки безпеки функціонування систем керування залізничної автоматики	248
Висновки до розділу 6	253
РОЗДІЛ 7. НАУКОВО – ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ	255
7.1. Розроблення концепції підвищення безпеки використання систем керування залізничної автоматики	255
7.2. Локалізація небезпечних подій методом зворотного ходу дерева ушкоджень	264
7.3. Підвищення безпечних властивостей мікропроцесорних систем станційної автоматики	268
7.4. Підвищення безпечних властивостей систем гіркової автоматики	280
7.5. Підвищення безпеки керування стрілковим електроприводом	285
Висновки до розділу 7	293
ВИСНОВКИ	295
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	298

Додаток А. Статистика транспортних подій	325
Додаток Б. Розрахунок корегувальної дії	328
Додаток В. Програма для розрахунку параметрів моделі СКЗА систем станційної автоматики	330
Додаток Д. Розрахунки показників безпеки служб Ш залізниць	333
Додаток Ж. Фрагмент програмного забезпечення МПЦ з прямою та перетвореною РКС	340
Додаток З. Автоматизація процесу аналізу і розрахунку дерев небезпечних подій	342
Додаток И. Розрахунок гальмівного зусилля уповільнювача	344
Додаток К. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	348

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

КД – корегувальна дія;

МЗНП – мінімальний збіг небезпечних подій;

МПЦ – мікропроцесорна централізація;

НМ – нейромережні моделі;

РКС – релейно – контактна схема;

СКЗА – система керування залізничної автоматики;

СМО – система масового обслуговування;

ТО – технічне обслуговування;

ФАЛ – функція алгебри логіки.

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 науковцем 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 [99,103,104,105,109,112,120,123-125,128,133,135-138] виконані автором одноосібно.

У наукових працях, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок автора такий. У [102] сформульовані теоретичні передумови визначення закономірностей зміни чисельності порушень, у [94,100,116] методи безпечної роботи людини-оператора, у [25,92,118,127,139] розроблені теоретичні положення й визначені критерії небезпек комплексу моделей небезпечних станів, окремих порушень та транспортних подій, у [94,101,134,135,165] теоретично обґрунтовано методи оцінювання стану безпеки, у [129] визначені принципи ранжирування небезпек, у [111] сформульований метод визначення впливу порушень на складові процесу використання засобів станційної автоматики, у [101,106] сформульовані теоретичні

положення оперативного визначення стану безпеки використання елементів та систем залізничної автоматики для сигналів з булевою логікою, у [95,113,115,117,119,122,127,130,141] сформульовані принципи синтезу нейромережних моделей та функцій належності для оцінки рівня небезпек, у [110] сформульовані принципи оцінки гіркових горловин, в роботах, пов'язаних з впровадженням наукових результатів, [4,10,11,12,60,96-98,103,107-109,114,121,131,134,150,162,163] 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.

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, промисловому 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. Хмельник, 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 автоматичної, 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.