

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

**Бойнік Анатолій Борисович**

..... УДК 656.216.2: 658.011.8

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗАГОРОДЖУВАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

**Харків -2003**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі “Автоматика та комп’ютерні системи управління”, Міністерство транспорту України, м. Харків.

#### **Науковий консультант**

Доктор технічних наук, професор  
**Соболев Юрій Володимирович**,  
Українська державна академія залізничного транспорту,  
ректор академії

#### **Офіційні опоненти**

Доктор технічних наук, професор  
**Бутько Тетяна Василівна**,  
Українська державна академія залізничного транспорту,  
завідуюча кафедрою “Управління експлуатаційною роботою  
та міжнародними перевезеннями”;

Доктор технічних наук, професор  
**Разгонов Адам Пантелійович**,  
Дніпропетровський національний університет залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри  
"Автоматика, телемеханіка та зв'язок”;

Доктор технічних наук, професор  
**Фурман Ілля Олександрович**,  
Харківський державний технічний університет сільського  
господарства, завідувач кафедри "Автоматизація та  
комп’ютерні технології"

**Провідна установа** – Східноукраїнський національний університет імені В. Даля,  
кафедра “Транспортні технології”, Міністерство освіти і науки  
України, м. Луганськ

Захист відбудеться “ 9 ” жовтня 2003 р.

о 13<sup>30</sup> годині в ауд. **конференц залі** на засіданні спеціалізованої вченої ради  
Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою:  
61050, м. Харків, м.Фейєрбаха,7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії  
залізничного транспорту

Автореферат розісланий **5 вересня 2003 р.**

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Бабанін О.Б.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Вступ.** Транспортна система України виконує велику роль у задоволенні потреб населення та підприємств у перевезеннях, що сприяє поліпшенню економічних зв'язків між регіонами, вирішенню багатьох соціальних питань та організації зовнішньої торгівлі.

Залізничний транспорт України, займаючи основне місце в цій системі, забезпечує перевезення близько 69% вантажів і більше 65% пасажирів від усіх загальнодержавних перевезень. Найважливішими показниками діяльності залізничного транспорту є безпека руху та пропускна спроможність. Загальна сума матеріальних збитків від порушень умов безпеки руху та затримок поїздів на магістральному транспорті у 2000 р. склала 3,51 млн. гривень, а у 2001 р. – 4,25 млн. гривень. Основна частина аварій, дорожньо-транспортних пригод (ДТП) та інцидентів, як свідчить статистика, відбувається на складних транспортних об'єктах, до числа яких відносяться залізничні переїзди, станції з технологічним обслуговуванням рухомого складу, виробничі приміщення з в'їздом і виїздом маневрових составів, тунелі, естакади навантаження та вивантаження і т.п. Аналіз аварій і ДТП свідчить, що більше 75% з них пов'язані з людським фактором, а також з експлуатацією систем керування (СК), які не в повній мірі відповідають сучасним вимогам.

У комплексі технічних засобів залізничного транспорту важливе місце займають системи автоматики та телемеханіки, за допомогою яких автоматизується процес його інтервального регулювання по перегонах і станціях, а також забезпечується безпека руху. Заради підвищення пропускної спроможності та безпеки руху транспорту складні транспортні об'єкти обладнуються спеціальними загороджувальними пристроями (ЗП) з автоматичним і напівавтоматичним, безпосереднім чи дистанційним керуванням (ДК). СК ЗП займають особливе місце серед систем регулювання руху транспорту через їх важливу роль в одночасному забезпеченні безпеки руху багатьох видів транспорту, технологічного персоналу і пішоходів, а також пропускної спроможності. Тому питання їх удосконалювання давно є предметом досліджень як у нашій країні, так і за кордоном.

**Актуальність теми.** В умовах ринкової економіки на залізничному транспорті відбулися важливі структурні, соціальні та економічні зміни. Тому існуюча система забезпечення пропускної спроможності та безпеки руху транспорту на складних транспортних об'єктах потребує значного удосконалення. За останні одинадцять років на 18000 залізничних переїздів магістрального та промислового транспорту України відбулося більше ніж 1100 ДТП, в яких постраждали тисячі людей та на сотні годин затримувався рух транспорту. На переїздах магістрального залізничного транспорту за чотири останні роки зареєстровано 510 ДТП, в яких загинуло 143 та одержали поранення більше 500 чоловік. У 434 випадках цих ДТП поїзди зіштовхувалися з автотранспортними засобами (АЗ) та в 76 випадках - АЗ із поїздами. На інших складних транспортних об'єктах кількість аварій та інцидентів складає декілька сот, при яких ушкоджувалася техніка й інженерне устаткування, що викликало значні економічні збитки та великі нераціональні транспортні затримки.

Розвиток засобів залізничної автоматики наприкінці 50-60-х рр. минулого сторіччя у значній мірі дозволив автоматизувати процеси керування ЗП. Надалі змінювалася елементна база СК, модернізувалася конструкція ЗП, але принципи їх побудови практично залишалися без змін. За цей час значно змінилися технічні можливості транспортних засобів і залізничного рухомого

складу, а також інтенсивність і швидкість їх руху, що сприяло введенню нових правил дорожнього руху та правил технічної експлуатації залізниць України. У результаті цього склалась невідповідність технічних можливостей СК ЗП сучасним вимогам як по забезпеченню безпеки та пропускної спроможності, так і по автоматизації процесів функціонування. Питання про ліквідацію складних транспортних об'єктів, у тому числі і залізничних переїздів, за економічними показниками не розглядаються в жодній з країн світу, які мають залізничний транспорт. Навпаки, останні роки характеризуються підвищеною увагою до розробки ефективних СК ЗП. На Україні відповідні роботи знаходяться ще в початковій стадії і ведуться вкрай повільно, розрізнено, без загального плану, хоча при цьому не підлягає сумніву, що удосконалювання процесів керування рухом транспорту на небезпечних транспортних об'єктах потрібно здійснювати за науково і практично обґрунтованим планом.

Розширення межі застосування СК ЗП неминуче приводить до зміни вимог щодо ефективності характеристик цих систем та особливо щодо безпеки руху транспорту, пропускної спроможності, оптимальності ДК і можливості відеоконтролю стану технологічних операцій і небезпечних зон. Виникають проблеми оптимізації СК ЗП, придатності використаних критеріїв і розробки їх нових видів, які більше відповідають вимогам сучасних застосувань. Вирішення проблеми підвищення ефективності функціонування СК ЗП має комплексний характер і може бути здійснене за рахунок розробки математичних моделей функціонування та моделювання процесів роботи складних транспортних об'єктів на основі оцінки критеріїв безпеки руху, а також пропускної спроможності. Це дозволить створити ефективні СК ЗП нового покоління з удосконаленими принципами побудови. Таким чином, розвиток теоретичних основ ефективного функціонування СК ЗП є актуальною науковою проблемою і має велике значення для транспорту України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана з 1982 по 2002 рр. на кафедрі “Автоматика та комп'ютерні системи управління” (АКСУ) Української державної академії залізничного транспорту відповідно до Постанови КМУ від 22 квітня 1997 р. за № 367 ”Про Програму підвищення безпеки руху на залізницях у 1997 – 2001 роках” та реалізації Постанов РМ СРСР від 20 червня 1982 р. № 539, від 10 березня 1988 р. № 179, від 29 листопада 1990 р. № 1097 «О мерах по усилению безопасности движения на железнодорожных переездах» та планів науково-дослідних робіт УкрДАЗТу (ХПТУ, ХарДАЗТу), що проводилися у рамках галузевих програм МШС СРСР, Міністерства транспорту України і Укрзалізниці з тем: “Разработка мероприятий по повышению надежности автоматики и телемеханики” № ДР 018288012032, Инв. № 0283.0027849, “Разработка мероприятий по повышению надежности автоматики и телемеханики” № ДР 0188830020560, Инв. № 0281.0016481, “Повышение надежности автоматической блокировки” № ДР 01840015763, Инв. № 0275.0009137, “Повышение защищенности автоблокировки от схода изолирующих стыков и толчков тягового тока” № ДР 01870020197, Инв. № 02.9.00055517, “Разработка мероприятий и средств повышения эксплуатационной надежности устройств железнодорожной автоматики” № ДР 01910033284, Инв. № 0291.0023763, “Теоретичні дослідження статистичних характеристик спрацювання поверхні катання рейок у поздовжньому профілю в експлуатаційних умовах”, № ДР 0199U003104, архів № 0202U006021; “Дослідження роботи безстикової колії в процесі експлуатації”, № ДР 0100U000820.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є вирішення науково-прикладної проблеми – підвищення ефективності експлуатації СК ЗП небезпечних транспортних об'єктів за рахунок поліпшення якості їх функціонування та проектних рішень, які приймаються для забезпечення безпеки руху і пропускної спроможності транспорту. Засобом досягнення зазначеної мети є математичне моделювання процесів руху транспорту та керування ЗП, яке необхідно будувати на єдиній методологічній основі взаємозв'язаних функціональних моделей з використанням системного підходу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз процесів функціонування різних СК ЗП небезпечних об'єктів залізничного транспорту для підвищення на них безпеки руху і збільшення пропускної спроможності;
- провести дослідження характеру конфліктних ситуацій у небезпечних зонах переїздів, як одних із найбільш небезпечних транспортних об'єктів, і розробити оціночний критерій ефективності СК ЗП;
- розробити моделі процесів функціонування залізничних переїздів за критеріями безпеки руху транспорту, пропускної спроможності з розрахуванням транспортних затримок та впливу відмов елементів СК, а також визначити ймовірність ДТП і виконати оцінку середніх затримок АЗ;
- провести дослідження ефективності існуючих методів оцінки безпеки руху транспорту в небезпечних зонах та удосконалити метод оцінки безпеки залізничних переїздів різних категорій з урахуванням їх завантажування;
- провести дослідження експлуатованих і перспективних СК ЗП переїздів за критерієм часу сповіщення і розробити оптимальні принципи їх побудови та раціональні структури інтелектуальних систем з урахуванням автоматизації контролю небезпечних ситуацій і пріоритетного пропуску спеціальних видів АЗ;
- розробити модель небезпечного впливу колійних датчиків (КД) накладення на процеси функціонування СК ЗП та визначити їх імовірнісні показники;
- розробити імітаційну модель процесів функціонування переїздів і визначити транспортні затримки при поїзному і маневровому характері руху составів;
- обґрунтувати концепцію подальшого розвитку та удосконалення СК ЗП.

*Об'єктом дослідження* є процеси функціонування небезпечних транспортних об'єктів та їх СК ЗП при різній інтенсивності і параметрах руху транспорту, що вимагають рішення досить широкого кола задач теоретичного, практичного й організаційного плану.

*Предметом дослідження* є небезпечні транспортні об'єкти – залізничні переїзди, станційні технологічні колії і виробничі приміщення, які мають введення залізничних колій.

*Методи дослідження.* Виконані в дисертаційній роботі дослідження ґрунтуються на теорії ймовірності і математичній статистиці, математичному аналізі, теорії масового обслуговування, теорії автоматичного регулювання, математичного та імітаційного моделювання, теорії надійності, а також на чисельних методах розрахунків на ЕОМ.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Вирішена науково - прикладна проблема створення ефективних СК ЗП нового покоління небезпечних транспортних об'єктів, які забезпечать підвищення рівня безпеки руху транспорту та їх пропускної спроможності.

Уперше встановлені, створені та запропоновані:

- кореляційні залежності взаємозв'язку між виникненням ДТП, затримками транспортних засобів і інтенсивністю їх руху та небезпечними помилками водіїв, чергових по переїзду, небезпечних відмов елементів СК ЗП;

- моделі функціонування переїздів за критеріями безпеки руху та пропускної спроможності, які дозволяють достовірно оцінювати їх ефективність при різних параметрах руху транспорту та виникненні дестабілізуючих факторів;

- модель небезпечного впливу КД на процес функціонування СК ЗП;

- імітаційна модель функціонування переїздів з різними СК ЗП для машинного (комп'ютерного) експерименту для дослідження транспортних затримок при стаціонарному та нестаціонарному режимах руху транспорту;

- науково обґрунтована концепція удосконалення СК ЗП небезпечних об'єктів залізничного транспорту.

Вдосконалені:

- метод оцінки безпеки залізничних переїздів різних категорій з урахуванням їх завантаження, який дозволяє комплексно визначити фактичні та граничні показники безпеки;

- модель прогнозування стану СК ЗП на основі приватного алгоритму екстраполяції, використання якої сприяє переходу технологічного обслуговування на раціональний принцип

- у залежності від технічного стану.

Дістали подальшого розвитку принципи ефективного керування ЗП залізничних переїздів, станційних технологічних колій навантаження–вивантаження та пунктів технічного обслуговування рухомого складу, а також виробничих приміщень з в'їздом - виїздом маневрових составів.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що реалізація обґрунтованої у дисертації концепції удосконалювання СК ЗП забезпечує значне підвищення безпеки руху транспорту і пропускної спроможності небезпечних транспортних об'єктів.

У дисертаційну роботу включені наукові положення, висновки і рекомендації, а також розроблені методи, моделі й алгоритми, які отримані автором у ході виконання ряду НДР із 1982 по 2002 рр. на замовлення МШС СРСР, Міністерства транспорту України і Укрзалізниці, а також відповідно до тематичних планів УкрДАЗТу (ХПТу, ХарДАЗТу) та договорів про творчу співдружність з підприємствами.

**Практичне застосування**, що підтверджено матеріалами впровадження результатів дисертаційної роботи, знаходять:

- 1) методи оцінки безпеки залізничних переїздів у практиці ЗАО “Інститут Харківський Промтранспроект”;

- 2) моделюючі програми визначення ефективності функціонування залізничних переїздів із різними СК ЗП у практиці ЗАО “Інститут Харківський Промтранспроект”;

- 3) автоматичні СК ЗП залізничних переїздів на магістральному і промисловому транспорті, а також на Лисичанському НПЗ, Рубежанському ВО “Краситель”, п/с А-7462, п/с А-2609, Могілівському ВО “Хімволокно” та інших підприємств України, Російської Федерації та Білорусії;

- 4) алгоритми послідовного і паралельного відображення відеоінформації на кольорових моніторах ДП Харківський метрополітен;

- 5) способи оптимального розташування органів ДК на ДП Харківський метрополітен;
- 6) напівавтоматичні системи в'їзної і виїзної сигналізації на Белгородському заводі “Енергомаш”;
- 7) напівавтоматичні системи дистанційного огороження станційних технологічних колій на Астраханському ГПЗ.

Теоретичні результати, які були отримані у ході виконання цієї роботи, використовуються в курсі лекцій з дисциплін “Системи автоматики на перегонах”, “Системи автоматики на станціях”, “Спеціальні вимірювання та технічна діагностика систем залізничної автоматики”, у курсовому та дипломному проектуванні на ФПК і при підготовці магістрів в ІППК.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові положення, розробки і результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. У наукових працях, що опубліковані у співавторстві, особистий внесок автора такий.

У [1, 7, 8, 9, 10, 23, 26] – розробка перспективних принципів побудови, структурних і принципів схем СК ЗП на релейно-контактній і напівпровідниковій елементній базі. У роботах [2, 32, 33, 34] – теоретичні і практичні основи реалізації мікропроцесорних СК ЗП для різних транспортних експлуатаційних ситуацій. У [3] – теоретичні основи побудови математичної моделі функціонування залізничного переїзду. У [12] - критерії оцінки стану безпеки руху транспорту і перспективи удосконалювання ЗП. У [13, 15, 16] – перспективи удосконалювання систем інтервального регулювання руху поїздів, особливості і роль СК ЗП у забезпеченні безпеки руху поїздів. У [14] – аналіз і причини ДТП на залізничних переїздах, а також принципи побудови автоматичних пристроїв контролю стану небезпечних зон за допомогою замкнутих і розімкнутих пристроїв технічного «зору» - промислових телевізійно-обчислювальних пристроїв. У [17, 37, 39] – критерії оцінки черговими по станції кольорового відеозображення небезпечних транспортних об'єктів і принципи побудови оптимального ДК ЗП. У [18, 36] – аналіз методів оцінки безпеки залізничних переїздів. У [24, 25, 27, 28, 29, 30, 35] – принципи побудови перспективного рейкового датчика, визначення параметрів руху поїздів, пристроїв електричного поділу рейкових датчиків з адаптивним регулюванням і спосіб виміру амплітуд тягового і сигнального струмів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися і схвалені на 19 науково-технічних конференціях та школах-семінарах, у тому числі:

а) на 6-ти міжнародних: 7-й Міжнародній школі - семінарі «Мікропроцесорні системи зв'язку і керування на залізничному транспорті» (м. Алушта, 1994 р.); 14 - й Міжнародній школі - семінарі «Перспективні системи керування на залізничному транспорті» (м. Алушта, 2001р.); 4 – й Міжнародній конференції «Вплив людського фактора на безпеку руху на залізничному транспорті» (м. Львів, 2001 р.); 63-й Міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії (ХарДАЗТу) та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (м. Харків, 2001 р.); 64-й Міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії (УкрДАЗТу) та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (м. Харків, 2002 р.); 15-й Міжнародній школі-семінарі «Перспективні системи керування на залізничному, промисловому та міському транспорті» (м. Алушта, 2002 р.);

б) на республіканській «Мікропроцесорні системи зв'язку і керування на залізничному транспорті» (м. Київ, 1991р.);

в) на 2-х галузевих: «Роль молодих вчених і фахівців у розвитку науково - технічного прогресу

на залізничному транспорті» (м. Москва – 1984р.); «Попередження наїздів рухомого складу на працівників залізничного транспорту» (м. Новосибірськ, 1985р.);

г) на 9-ти (50–й, 51–й, 52–й, 53–й, 54–й, 55–й, 56–й, 57–й та 59–й ) науково-технічних конференціях кафедр УкрДАЗТу (ХШТу, ХарДАЗТу) та фахівців залізничного транспорту;

д) на нараді «Перспективи розвитку і нові розробки залізничної автоматики» (м. Харків, 1995 р.).

Цілком дисертаційна робота доповідалася на розширених засіданнях кафедри АКСУ УкрДАЗТу в 2002-2003 рр. за участю членів спеціалізованої вченої ради.

**Публікації.** Матеріали дисертації опубліковані в 25 основних наукових працях, у тому числі в 6 статтях у збірниках наукових праць, у 16 статтях у науково-технічних збірниках праць, у 3 авторських посвідченнях на винаходи, а також у 15 додаткових працях: 4 авторських посвідченнях на винаходи та 11 тезах доповідей на міжнародних, всесоюзних та республіканських науково-технічних конференціях, семінарах та школах, у виданнях, затверджених ВАК України.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків і чотирьох додатків. Повний обсяг дисертації складає 338 сторінок, із яких 273 сторінки основного тексту, 68 ілюстрацій і 23 таблиці (41 із них на окремих сторінках), список використаних джерел, що включає 194 найменування вітчизняних і закордонних джерел, та 4 додатки на 6 сторінках.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

**У вступі** подана загальна характеристика роботи, її зв'язок із науковими програмами і темами. Обґрунтована актуальність теми дисертації, визначено наукову новизну отриманих результатів та показана їх практична цінність. Сформульовано мету і основні задачі досліджень, положення, що виносяться на захист.

**Перший** розділ присвячений аналізу та дослідженню сучасного стану проблеми забезпечення безпеки руху транспорту і пропускної спроможності небезпечних об'єктів залізничного транспорту і містить: огляд і аналіз процесів функціонування залізничних переїздів, станційних колій технологічного обслуговування та виробничих приміщень, обладнаних ЗП; причини транспортних затримок, ДТП і аварій; методи оцінки безпеки руху транспорту; аналіз сучасних тенденцій удосконалювання СК ЗП і шляхи підвищення ефективності функціонування небезпечних об'єктів залізничного транспорту.

Питання безпеки руху транспорту та підвищення пропускної спроможності складних об'єктів залізничного транспорту розглядалися у працях таких вітчизняних вчених і практиків, як Бабаєва М.М., Брилеєва А.М., Бутько Т.В., Дмитренко І.Е., Жуковицького І.В., Загарія Г.І., Кравцова Ю.О., Котляренка М.Ф., Лисенкова В.М., Разгонова А.П., Самсонкіна В.М., Сапожнікова В.В., Сапожнікова Вл.В., Соболева Ю.В., Філіппенка І.Г., Фурмана І.О., Шалягіна Д.В., Шафіга Є. М., Шелухіна В.І., та закордонних - О. Поупе, Л.Венера, Дж. Кольєра, Р. Мак – Найта, Е. Мурра, І. Воно та інших.

На залізницях України сьогодні експлуатується близько 6,4 тисяч переїздів, більше 560 станцій з технологічним обслуговуванням рухомого складу та до 600 виробничих приміщень із в'їздом і виїздом залізничного рухомого складу. Більшість із цих небезпечних транспортних об'єктів обладнані спеціальними ЗП із автоматичним і напівавтоматичним керуванням. Аналіз ДТП на переїздах магістрального залізничного транспорту, виконаний за багаторічними статистичними матеріалами, свідчить, що щорічна середня їх кількість досягає 145 випадків. Основними їх



причинами є: порушення водіями АЗ правил проїзду зони переїздів; недостатня експлуатаційно-технічна надійність АЗ; ненадійне кріплення вантажів і розвал їх у зоні переїзду; недосконалість експлуатованих ЗП і систем їх керування. Найбільша кількість ДТП відбувається з першої причини та при цьому через ігнорування сигналів ЗП відбувається до 31,5% їх випадків, через керування свідомо несправними АЗ – 19% випадків, зміни режиму руху АЗ у зоні переїздів, що з'явилося причиною їх зупинки, – 18,5% випадків, через перевищення швидкості руху АЗ перед переїздом і наступний в'їзд їх у зону переїзду – 6% випадків, внаслідок обгону в межах зони переїзду та утворення «пробок» – 5% випадків, незаконного проїзду надважкої техніки і перевезення негабаритних вантажів – 5% випадків, технічної несправності ЗП і систем їх керування, що стало причиною в'їзду АЗ у небезпечну зону, – 3% випадків, з інших причин – 12% випадків.

Забезпечення пропускної спроможності та безпеки руху транспорту на переїздах, а також на інших складних транспортних об'єктах як в Україні, так і за кордоном є досить гострою проблемою, і тому у світовій практиці їй рідше приділяється велика увага. Дослідження методом патентної і технічної статистики більше ніж 750 літературних джерел з цієї проблеми дозволили встановити такий міжнародний ранг значимості, його експертну оцінку та коефіцієнт динамічності розробок окремих елементів переїздної сигналізації (табл. 1).

Таблиця 1

Напрямки удосконалення пристроїв систем переїздної сигналізації

Найменування	Статистичний аналіз			Експертна оцінка рангу напрямку (якісний аналіз)		
	% від усіх джерел	Міжнародний ранг значимості	Коефіцієнт динамічності	Розвинуті країни	СНД	Україна
<i>Загороджувальні пристрої:</i>	всього 20					
світлофори	9	0,1	+0,016	2	1	1
шлагбауми	7	0,08	-0,155	4	2	2
пристрої загороджування	4	0,1	-0,234	3	1	-
<i>Системи керування:</i>	всього 41					
елементна база	17	0,1	+0,076	4	3	-
принципи побудови	10	0,1	+0,08	3	5	-
приводи шлагбаумів та схеми світлофорів	14	0,07	-0,025	5	4	3
<i>Пристрої контролю аварійних ситуацій</i>	27	0,25	+0,12	1	5	-
<i>Колійні датчики параметрів руху поїздів</i>	12	0,2	+0,09	2	5	-

Аналіз наведених даних вказує, що в Україні через відсутність обґрунтованої концепції удосконалювання СК ЗП пріоритети в розвитку цих підсистем відрізняються від розвинутих країн, що негативно впливає на ефективність функціонування небезпечних транспортних об'єктів.

У цьому розділі також розглянуті зарубіжні методи оцінки безпеки руху транспорту на переїздах та інших небезпечних транспортних об'єктах, які можна звести до порівняння числа ДТП до і після реконструкції, оцінки безпеки руху транспорту за допомогою індексів безпеки, визначення очікуваного числа ДТП за прогнозуючим рівнянням, коефіцієнтів аварійності і багатofакторного регресивного аналізу. Ці дослідження показали, що застосувати їх до транспортних об'єктів України важко через такі

недоліки, як вимоги незмінності параметрів транспортних шляхів протягом 10-15 років, приведення результатів розрахунків до 1,0 млн. прослідувань АЗ та ускладнення щодо реалізації математичних моделей і т. ін.

Встановлено, що на цей час в Україні проблема безпеки руху та пропускної спроможності небезпечних транспортних об'єктів стоїть досить гостро і причиною тому є недосконале керування ЗП.

Для підвищення ефективності функціонування зазначених об'єктів необхідна оптимізація керування ЗП, заснована на розробці перспективних принципів і структур побудови СК ЗП на підставі обліку параметрів руху транспорту, формалізації інформаційних можливостей ЗП, автоматичного контролю стану небезпечної зони, оптимального ДК ЗП і діагностування.

**Другий розділ** присвячений розробці теоретичних основ безпеки руху транспорту на переїздах та інших небезпечних транспортних об'єктах. У першу чергу для оцінки якості функціонування небезпечних транспортних об'єктів був обраний показник, що залежить від типу СК ЗП, психологічного стану водія, технічного стану автомобіля, дорожнього покриття, і доцільний, з економічної точки зору, транспортний переїзний ризик руху

$$R_{\Pi} = P_z C_z + P_{\text{ДТП}} C_{\text{ДТП}}, \quad (1)$$

де  $P_z$  і  $P_{\text{ДТП}}$  – відповідні ймовірності затримок АЗ та їх участь у ДТП;

$C_z$  і  $C_{\text{ДТП}}$  – відповідні вартості витрат від затримок АЗ і ДТП.

Встановлено, що фізична природа явищ, які визначають ймовірності  $P_z$  і  $P_{\text{ДТП}}$ , різноманітна, а інтервали часу зміни  $P_z C_z$  складають кілька годин,  $P_{\text{ДТП}} C_{\text{ДТП}}$  – кілька місяців, а іноді років. Називаючи цей ризик, обчислений в інтервалі локальної стаціонарності, транспортним ризиком руху  $k$ -го переїзду, можна одержати важливу інформацію про динаміку процесів руху транспорту, визначити середні втрати і вчасно вжити ефективних заходів на вибір СК ЗП, дорожнього покриття і т. ін. Якщо позначити:  $P_k \{z = 1\}$  – ймовірність того, що час можливого прослідування АЗ небезпечної зони буде більше встановленого;  $P_k \{z = 0\}$  – ймовірність того, що час можливого прослідування АЗ небезпечної зони буде встановлений;  $P_k \{g = 1\}$  – ймовірність того, що до переїзду під'їжджає АЗ;  $P_k \{g = 0\}$  – ймовірність того, що до переїзду не під'їжджає АЗ;  $P_k \{s = 1\}$  – ймовірність того, що ЗП переїзду будуть включені при під'їзді АЗ при наближенні поїздів чи ушкодження елементів СК ЗП ( $P_k \{z = 1\}$  можливо зміниться);  $P_k \{s = 0\}$  – ймовірність того, що ЗП переїзду при під'їзді АЗ будуть виключені;  $P_k \{r = 1\}$  – ймовірність того, що через нераціональні затримки АЗ чи ДТП мають місце матеріальні витрати;  $P_k \{r = 0\}$  – ймовірність того, що немає нераціональних затримок АЗ чи ДТП та матеріальних витрат;  $G_{\Pi}$  – показник сумарних матеріальних витрат, то поточний транспортний ризик руху для  $k$ -го переїзду може бути визначений як

$$R_{\Pi, t, k} = [P_k \{z = 0 | s = 0\} P\{s = 0\} + P_k \{z = 0 | s = 1\} P\{s = 1\}] P_k \{g = 1\} P_k \{r = 1\} G_{\Pi}, \quad (2)$$

У тих випадках, коли параметри руху транспорту і переїзду мало змінюються, тоді за його значенням можна визначити вплив надійності функціонування СК ЗП та адаптивного регулювання. Знаходячи суму поточного ризику  $R_{\Pi, t, k}$  за визначений період часу експлуатації  $T_e$  та період часу стаціонарного руху транспорту  $T_{\text{ст}}$ , можна одержати сумарний транспортний переїзний ризик руху

$$R_{\Sigma\Pi} = \sum_{n=1}^N (R_{\Pi.t.k})_n, \quad (3)$$

де  $N = T_e / T_{CT}$  - відношення періодів часу;  $n$  – кількість років експлуатації.

Як бачимо, сумарний транспортний переїзний ризик  $R_{\Sigma\Pi}$  характеризує середню вартість усіх витрат. Якщо порівняти витрати на розробку та експлуатацію різних СК ЗП, то за розміром середніх збитків можливо оцінити ефективність та межу їх удосконалення.

З огляду на те, що на переїздах повинен здійснюватися переважний пропуск одного виду транспорту перед іншим, обладнання їх ЗП з оптимальним керуванням і обсягом сигнальної інформації є дуже важливою задачею. Встановлено, що для сучасного автодорожнього транспорту не стають нездоланною перешкодою ЗП, які експлуатуються, і тому захист від зіткнень транспорту поки що залежить від сигнальної інформації. Для безпечного регулювання руху транспорту на ряді переїздів організоване обслуговування черговими працівниками. Однак, як свідчить статистика ДТП, це сприяє деякому зменшенню числа зіткнень транспорту, але все ж таки не гарантує повної безпеки руху транспорту. Статистика свідчить, що за останні 15 років тільки в 42% випадків аварійних ситуацій черговими працівниками вчасно та правильно вживалися всі заходи для запобігання ДТП. Тому для зменшення кількості ДТП необхідно доповнити ЗП, які експлуатуються спеціальними інформаційними табло, і здійснювати автоматичний контроль стану небезпечної зони. Для збільшення обсягу сигнальної інформації, яка передається водіям АЗ, на вказаних табло повинна відображатися обстановка руху поїздів поблизу переїздів та передбачуваний час їх в'їзду у небезпечну зону, що буде сприяти прийняттю водіями рішень, безпечних для руху транспорту.

Встановлено, що на безпеку руху транспорту особливо негативно впливають такі дестабілізуючі фактори, як небезпечні помилки водіїв АЗ (фактор  $\Phi^0_1$ ), небезпечні відмови АЗ (фактор  $\Phi^0_2$ ), небезпечні відмови СК ЗП (фактор  $\Phi^0_3$ ) та небезпечні помилки чергових працівників (фактор  $\Phi^0_4$ ). Детальний аналіз причин ДТП показує, що в абсолютній більшості випадків вони є незалежними із ймовірним характером виникнення. З огляду на те, що процеси руху транспорту на переїздах мають безпечний (б), небезпечний (н) та аварійний (а) виходи, сума їх ймовірностей дорівнює одиниці, тобто  $P_b + P_n + P_a = 1$ . Між зазначеними виходами існує визначений взаємозв'язок, уявлення про який можна одержати на підставі теорії множин. Відповідно до цієї теорії повна множина  $\Omega$  станів процесу руху транспорту є сукупністю таких підмножин: безпечного ( $S_b$ ), небезпечного ( $S_n$ ) та аварійного ( $S_a$ ),

$$\Omega = \{S_b, S_n, S_a\}, \quad (4)$$

де  $S_b$  – підмножина подій з безпечним виходом процесу руху транспорту, тобто при в'їзді поїздів на ділянку сповіщення та прослідкування переїзду в небезпечній зоні АЗ не було;

$S_n$  – підмножина подій з небезпечним виходом, тобто при наближенні поїздів до переїзду в його небезпечній зоні знаходиться АЗ;

$S_a$  – підмножина подій з аварійним виходом – ДТП.

Підмножини  $S_b$  і  $S_n$  характеризуються тим, що вони не можуть відбуватися одночасно і тому вони являють собою підмножини  $S_b \notin S_n$ , що не пересікаються. Підмножина  $S_a$  є ДТП на

переїзді і вона обов'язково відбувається після небезпечних подій, що визначає підмножину  $S_H$ . З цієї причини підмножини  $S_H$  і  $S_a$  пересікаються, тобто  $S_a \subset S_H$ . У такому випадку, якщо ДТП на переїзді прийняти за подію  $A$ , його ймовірність  $P(A)$  може потрапити в будь-яку точку тільки підмножини  $S_a$ . Протилежною до цієї події є подія  $\bar{A}$ , що характеризує безпечний процес руху транспорту, а ймовірність такої події  $P(\bar{A})$  може потрапити в будь-яку точку підмножин  $S_b$  і  $S_H$ . Оскільки визначені ймовірності складають повну групу подій, їх сума ймовірностей дорівнює одиниці, і в такому випадку справедлива така рівність

$$P(\bar{A})_{S_b} + P(\bar{A})_{S_H} + P(A)_{S_a} = 1. \quad (5)$$

Тоді загальна ймовірність безпечного руху транспорту за період часу  $T$  дорівнює

$$P^T(\bar{A}) = P^T(\bar{A})_{S_b} + P^T(\bar{A})_{S_H}, \quad (6)$$

а умовна ймовірність ДТП

$$P_{\text{ДТП}}^T(S_a | S_H, P(A)) = \frac{P^T(S_H, P(A) \cap S_a)}{P^T(S_H, P(A))}, \quad (7)$$

де  $P^T(S_a | S_H, P(A))$  – умовна ймовірність виникнення ДТП виходячи з того, що небезпечна подія вже наступила.

Дослідження дестабілізуючих факторів і вивчення технічних джерел показує, що функції розподілу небезпечних відмовлень  $Q_H(t)$  щодо СК ЗП і АЗ відомі, а що стосується небезпечних помилок водіїв АЗ і чергових на переїздах, то вони мало вивчені. Аналізуючи матеріали кримінальних справ більше 140 ДТП на регульованих переїздах з черговими працівниками за останні п'ятнадцять років, встановлено, що, в основному, вони відбуваються за фізіологічних, тобто психологічних і біологічних причин, властивих людині. Встановлено, що протягом робочого часу ( $t_H - t_K$ ) ймовірність небезпечних помилок водіїв і чергових на переїздах в абсолютній своїй більшості аналогічна і протягом доби має максимальні значення в період часу «входження в роботу» ( $t_H - t_{y1}$ ) та в період «стомлювання» ( $t_{y2} - t_K$ ), мінімальні значення – в період «стійкої роботи» ( $t_{y1} - t_{y2}$ ), а щільність ймовірності змінюється таким чином (рис.1).

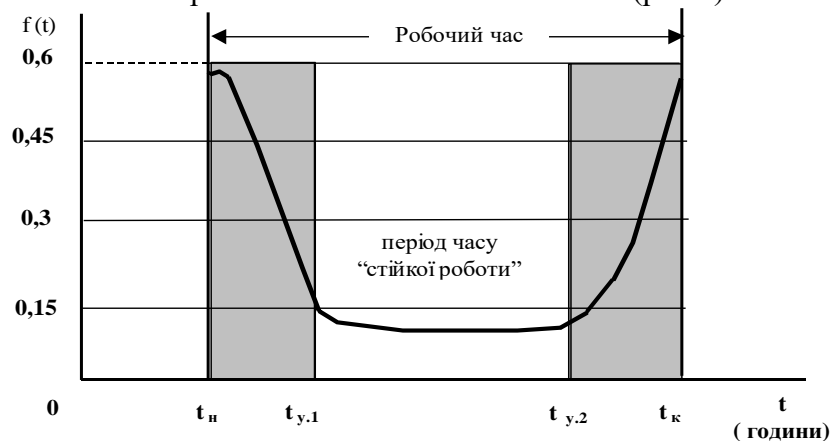


Рис. 1. Розподіл небезпечних помилок водіїв і чергових по переїздах у робочий час

На першому етапі на основі статистичних даних побудовані відповідні гістограми та сформульована гіпотеза про бета-розподіл небезпечних помилок водіїв і чергових на переїздах. На другому етапі, використовуючи метод максимальної правдоподібності, а також після перевірки

несуперечності сформульованої вище гіпотези статистичним даним встановлено: якщо за нульове значення часу прийнятий час початку робочого дня  $t_n$ , то характер зміни інтенсивності небезпечних помилок водіїв АЗ і чергових на переїздах описується бета –розподілом.

Ймовірність переходу процесу руху транспорту в аварійний стан ( $G_a$ ) за визначений період часу  $T$  від впливу дестабілізуючих факторів можна визначити, як

$$Q_a^T(G_a) = Q_a^T \left( \begin{array}{c} G_a \\ \Phi_j^0 \end{array} \right) Q_a^T(\Phi_j^0). \quad (8)$$

На регульованих переїздах без чергового на процес виникнення ДТП можуть впливати дестабілізуючі фактори  $\Phi^0_1, \Phi^0_2$  і  $\Phi^0_3$ , а на регульованих переїздах з черговим –додатково і фактор  $\Phi^0_4$ . Тоді на регульованих переїздах без чергового ймовірність безпечного руху транспорту при впливі дестабілізуючих факторів  $\Phi^0_1, \Phi^0_2$  і  $\Phi^0_3$  дорівнює

$$P_{\text{б.ч}}(t) = \prod_{j=1}^{N_{\Phi^0_H}=3} P_{\Phi^0_{Hj}}(t) \quad \text{чи} \quad P_{\text{б.ч}}(t) = P_{\Phi^0_1}(t) P_{\Phi^0_2}(t) P_{\Phi^0_3}(t), \quad (9)$$

а на регульованих переїздах з черговим

$$P_{\text{ч}}(t) = \prod_{j=1}^{N_{\Phi^0_H}=4} P_{\Phi^0_{Hj}}(t) \quad \text{чи} \quad P_{\text{ч}}(t) = P_{\Phi^0_1}(t) P_{\Phi^0_2}(t) P_{\Phi^0_3}(t) P_{\Phi^0_4}(t), \quad (10)$$

де  $P_{\Phi^0_1}(t), P_{\Phi^0_2}(t), P_{\Phi^0_3}(t)$  і  $P_{\Phi^0_4}(t)$  – відповідно ймовірності безпечного процесу руху транспорту при впливі на нього дестабілізуючих факторів  $\Phi^0_1, \Phi^0_2, \Phi^0_3$  і  $\Phi^0_4$ .

Для повного дослідження ймовірних процесів руху транспорту на переїздах з погляду безпеки руху розроблена математична модель, що являє собою систему масового обслуговування транспорту з двома стійкими станами: Б – безпечний, коли здійснюється безпечний рух транспорту, і А – аварійний (зіткнення транспорту – ДТП). Визначені особливості й обмеження, основними з яких є: один прилад, який обслуговує як залізничний, так і автодорожній транспорт, але абсолютним пріоритетом в обслуговуванні є вимоги залізничного транспорту. Якщо на переїзді в момент часу  $t$  здійснюється безпечне обслуговування вимог обох видів транспорту, то система знаходиться в безпечному стані Б. При русі транспорту через переїзд при впливі одного чи декількох дестабілізуючих факторів у будь-який момент часу може відбутися їх зіткнення – ДТП. Тоді ймовірність того, що протягом інтервалу часу  $(t, t + \Delta t)$  система може перейти зі стану Б в стан А, дорівнює з точністю до нескінченно малих першого порядку диференціалу ймовірності  $\alpha \Delta t$ . При цьому  $\alpha$  - параметр, який описує потік моментів переходу системи зі стану Б в стан А, і належить до пуассонівського потоку розподілу. Аналогічно, після виконання відновлювальних робіт за умови безпечного руху транспорту через переїзд обернений перехід системи зі стану А в стан Б дорівнює диференціалу ймовірності  $\delta \Delta t$ . При цьому  $\delta$  - параметр, який описує потік моментів переходу системи зі стану А в стан Б, також належить до пуассонівського потоку розподілу. Очевидно, що коли система знаходиться в стані А, припиняється обслуговування усіх вимог, тобто рух транспорту через переїзд припиняється до закінчення відновлювальних робіт.

Позначаючи ймовірності стану розглянутої системи відповідно через  $P_B(t)$  і  $P_A(t)$ , і з огляду на швидкий термін часу (кілька секунд) процес переходу системи зі стану Б в стан А, можна записати такі диференціальні рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P_B(t) &= -\alpha P_B(t) + \delta P_A(t), \\ \frac{d}{dt} P_A(t) &= \alpha P_B(t) - \delta P_A(t). \end{aligned} \quad (11)$$

Приймаючи до уваги те, що для всіх  $t$  повинна виконуватися рівність  $P_B(t) + P_A(t) = 1$ , розв'язання системи рівнянь буде таким:

$$\begin{aligned} P_B(t) &= \frac{\delta}{\alpha + \delta} [1 - e^{-(\alpha + \delta)t}] + P_B(0) e^{-(\alpha + \delta)t}, \\ P_A(t) &= \frac{\alpha}{\alpha + \delta} [1 - e^{-(\alpha + \delta)t}] + P_A(0) e^{-(\alpha + \delta)t}, \end{aligned} \quad (12)$$

де  $P_B(0)$  і  $P_A(0)$  позначають ймовірності станів Б і А системи в початковий період часу.

По своїй суті (11) є диференційним рівнянням процесу і за умови  $t \rightarrow \infty$  ймовірності станів системи наближається до граничних значень

$$\begin{aligned} P_B(\infty) &\equiv \lim_{t \rightarrow \infty} P_B(t) = \frac{\delta}{\alpha + \delta}, \\ P_A(\infty) &\equiv \lim_{t \rightarrow \infty} P_A(t) = \frac{\alpha}{\alpha + \delta}. \end{aligned} \quad (13)$$

З огляду на те, що  $P_B(\infty) + P_A(\infty) = 1$ , ці граничні значення являють собою розподіл ймовірностей рівноваги, аналіз рівності (12) показує, що при  $t(\alpha + \delta) \gg 1$  ймовірності  $P_B(t)$  і  $P_A(t)$  мало відрізняються від своїх граничних значень  $P_B(\infty)$  і  $P_A(\infty)$ . Цей висновок дозволяє відповісти на запитання про можливий стан системи в будь-який момент часу, якщо при цьому важко установити початковий момент її функціонування.

У силу існування розподілу ймовірностей рівноваги його вид можна визначити, виходячи з властивостей стохастичних процесів, не звертаючись до диференціальних рівнянь. Якщо похідні, записані в лівій частині диференціальних рівнянь (11), прирівняти нулю, а ймовірності  $P_B(\infty)$  і  $P_A(\infty)$  для стислості позначити через  $P_B$  і  $P_A$ , то можна одержати таку форму запису рівнянь рівноваги:

$$\begin{aligned} -\alpha P_B + \delta P_A &= 0, \\ \alpha P_B - \delta P_A &= 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Ці рівняння рівноважні тому, що в розглянутій системі є лише два характерних стани Б і А, і тоді умови розподілу ймовірностей  $P_B + P_A = 1$  відповідають єдиному розв'язанню

$$\begin{aligned} P_B &= \delta / (\alpha + \delta), \\ P_A &= \alpha / (\alpha + \delta). \end{aligned} \quad (15)$$

У цьому випадку, як свідчать наслідки експлуатації переїздів, а саме те, що тільки на 145 переїздах із 6,4 тисяч щорічно відбуваються ДТП, після яких відновлення умов безпечного руху поїздів потребує кілька годин, можна зробити висновок, що система обслуговування транспорту абсолютно тривалий період часу знаходиться в стаціонарному безпечному стані Б. Тому ймовірність

одного ДТП на переїзді з урахуванням сучасних розмірів руху транспорту та їх технічних характеристик можна визначити таким чином. Розглянемо випадок, коли через переїзд за визначений період часу  $T$  проїхало  $n_{\Pi}$  поїздів і  $n_a$  АЗ і відбулося одне ДТП. У цьому випадку кількість поїздів, що безпечно проїхали через переїзд, склала  $n_{\Pi.б} = n_{\Pi} - 1$ , а число АЗ –  $n_{a.б} = n_a - 1$ . При цьому відносна статистична ймовірність ДТП на переїзді у зазначений період часу дорівнює

$$P^*_{\text{ДТП}} = \frac{2 n_{\Pi} n_a}{(n_{\Pi} + n_a)(n_{\Pi} + n_a - 1)}. \quad (16)$$

Практичне використання цього значення дозволяє визначити ймовірність одного ДТП на переїздах різної категорії протягом року: I категорії –  $P^*_{\text{ДТП}} = 0,0045$ ; II категорії –  $P^*_{\text{ДТП}} = 0,0048$ ; III категорії –  $P^*_{\text{ДТП}} = 0,0052$  і IV категорії –  $P^*_{\text{ДТП}} = 0,0061$ . З огляду на те, що ДТП на переїздах мають дві характерні риси зіткнення транспорту – наїзди поїздів на АЗ і в'їзди АЗ у поїзди, що рухаються, в дисертаційній роботі визначені ймовірнісні показники цих зіткнень.

Для прогнозування можливих ДТП на переїздах магістрального транспорту України визначене математичне очікування їх кількості, що дорівнює 143 випадкам, у тому числі на регульованих переїздах з черговими – 32 випадки, а на регульованих переїздах без чергових – 111 випадків. При цьому число ДТП, за яких одержали травми і загинули люди, – 78 випадків.

За допомогою запропонованої математичної моделі визначена тривалість періоду часу протягом доби можливого зіткнення транспорту на переїзді.

Для оцінки пропускнуої спроможності переїздів та затримок АЗ розроблена імовірнісна модель на основі теорії масового обслуговування з ненадійним пріоритетним обслуговуючим приладом. В основу моделі покладено те, що заявки на обслуговування залізничного транспорту мають вищий пріоритет щодо заявок автодорожнього транспорту. Основними характеристиками системи масового обслуговування є:  $t_{\Pi}$  – час прослідування АЗ небезпечної зони переїзду;  $t_B = t_{B.C} - Q(t) t_{3.B}$  – час відкритого стану переїзду для руху АЗ;  $t_3 = t_{3.C} + Q(t) t_{3.B}$  – час закритого стану переїзду для руху АЗ;  $t_{ж}$  – час утворення черги АЗ перед переїздом, де  $Q(t)$  – ймовірність відмови СК ЗП;  $t_{3.B}$  – середній час закритого стану переїзду при відмові СК ЗП;  $t_{B.C}$  і  $t_{3.C}$  – відповідно час відкритого та закритого стану переїзду при справній дії СК ЗП. Позначивши через  $\lambda$  – середню інтенсивність визначеного пуассонівського потоку АЗ,  $\mu = M(t_{\Pi})$  і  $\tau = M(t_B)$  – середні значення величин  $t_{\Pi}$ ,  $t_B$  і  $p = \lambda\mu$ ,  $F_{\Pi}(x)$ ,  $F_B(x)$ ,  $F_3(x)$ ,  $F_{ж}(x)$  закони розподілу відповідних випадкових величин, а через  $L(s)$ ,  $H(s)$ ,  $G(s)$ ,  $W(s)$  – їх перетворення Лапласа-Стилтьєса, тоді, згідно ергодичної теореми І.Н. Коваленка, при  $p < 1$  має місце рівність

$$W(S) = R_0(S) + R_1(S), \quad (17)$$

$$\text{де } R_0(S) = \frac{\lambda(1-p)\{H(\lambda) - H(s)\}}{(s-\lambda)\{1-H(\lambda)(1-\lambda\tau)\}},$$

$$R_1(S) = \frac{\lambda(1-p)\{1-L(s)+H(\lambda)[L(s)-G(s)]\}}{\{s-\lambda[(1-L(s))][1-H(\lambda)(1-\lambda\tau)]\}}.$$

З огляду на те, що функція  $W(S)$  є аналітичною в напівплощині  $\text{Re } S > P_0$  і  $P_0 < 0$ , середній час затримки АЗ  $t_{3.аз} = M(t_{ж}) = -W'(0)$ , після перетворення  $t_{3.аз} = -R_1'(0)$ , можна середній час затримки АЗ біля переїзду за період часу стаціонарної інтенсивності руху знайти, як

$$t_{3.аз} = \frac{\lambda}{2} \left\{ \frac{H(\lambda)}{1 - H(\lambda)(1 - \lambda\tau)} (d^2 + \tau^2) + \left[ \frac{1}{1-p} (\sigma^2 + \mu^2) + (1 - e^{-\lambda_B t}) t_{3.В} \right] \right\}, \quad (18)$$

де  $d^2$  і  $\sigma^2$  - відповідно дисперсія величин  $t_3$  і  $t_{п}$ .

Аналіз показує, що середній час затримки складається з двох частин: одна з них характеризує процес руху поїздів, а інша – процеси руху АЗ по переїзду. Щоб (18) було достовірним, і особливо його перша частина, необхідне виконання чисто математичної вимоги аналітичності функції  $H(s)$  у напівплощині комплексної змінної  $S$ , що має тільки уявну вісь. Ця умова виконується в тому випадку, коли густина функції  $f(x)$  значення  $t_B$  зменшується експоненційно у залежності від значення  $x$ , і тоді різниця між сумарним середнім часом затримки АЗ при  $\lambda \rightarrow \infty - T_{3.аз}(\infty)$  – сумарним середнім часом затримки АЗ при  $\lambda \rightarrow 0 - T_{3.аз}(0)$  – повинна бути більше нуля, тобто

$$T_{3.аз}(\infty) - T_{3.аз}(0) > 0, \quad (19)$$

$$\text{де } T_{3.аз}(\infty) = \lim_{\lambda \rightarrow \infty} T_{3.аз}(\lambda) = \frac{d^2 + \tau^2}{2} \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{\lambda H(\lambda)}{1 + \lambda\tau H(\lambda) - H(\lambda)} = \frac{d^2 + \tau^2}{2} \times \frac{k}{1 + \tau k},$$

$$T_{3.аз}(0) = \lim_{\lambda \rightarrow 0} T_{3.аз}(\lambda) = \frac{d^2 + \tau^2}{2} \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{\lambda H'(\lambda) + H(\lambda)}{\tau(\lambda H'(\lambda) + H(\lambda)) - H'(\lambda)} = \frac{d^2 + \tau^2}{2} \frac{1}{\tau + M}.$$

Після перетворення з урахуванням, що  $k = \lambda P(\lambda)$  і  $M = -H'(0)$ , отримаємо

$$T_{3.аз}(\infty) - T_{3.аз}(0) = \frac{d^2 + \tau^2}{2} \left[ \frac{k}{1 + \tau k} - \frac{1}{\tau + M} \right] > 0. \quad (20)$$

Численними хронометражними спостереженнями за процесом руху транспорту на переїздах різних категорій і інтенсивністю його руху, які були виконані в Харківському, Донецькому і Дніпропетровському регіонах, встановлено: середній мінімальний час закритого стану переїзду на одноколінійній ділянці для руху АЗ складає близько 2,2 хвилин, а на двоколінійній ділянці близько 5,4 хвилин. Ці ж спостереження свідчать, що максимальні їх значення можуть у кілька разів перевищувати мінімальні і тоді використання абсолютних даних для оцінки процесів руху АЗ є неефективним. Для якісної оцінки процесів функціонування переїздів, і особливо затримок АЗ, пропонується використовувати коефіцієнт затримки  $K_3$ , чисельна величина якого може бути визначена, як

$$K_3 = \frac{t_{3.аз\text{ср.ф}}}{t_{3.аз\text{min}}}, \quad (21)$$

де  $t_{3.аз\text{ф}}$  і  $t_{3.аз\text{min}}$  – відповідно середні фактичні і мінімальні середні затримки АЗ.

У реальних умовах на переїздах при різній інтенсивності і швидкості руху транспорту, з різними ЗП і системами їх керування чисельні значення цього коефіцієнта змінюються, і особливий інтерес представляють такі значення:  $K_3 \leq 1$  і  $K_3 > 1$ . У першому випадку, коли  $K_3 \leq 1$ , затримки АЗ мінімальні, а процеси регулювання руху транспорту через переїзди при існуючій інтенсивності руху транспорту і типах ЗП оптимальні. У другому випадку, при  $K_3 > 1$ , затримки



АЗ перевищують мінімально припустимі в залежності від його чисельного значення, необхідне вживання заходів для підвищення пропускної спроможності переїздів.

Значення коефіцієнта затримки АЗ, згідно статистичних спостережень (інтенсивність руху поїздів 68 пар/добу; довжина поїздів 850 м; швидкість руху поїздів 65 км / годину та інтенсивність руху АЗ до 4 тис.од / добу ) і розрахунків з використанням розглянутої вище моделі на переїзді двоколіїної ділянки, досягає свого максимального значення у робочі дні з 14<sup>00</sup> до 18<sup>00</sup> годин (рис.2).

Аналіз результатів хронометражних спостережень і теоретичних розрахунків за допомогою критерію  $\chi^2$  для номінальних ознак свідчить про їх задовільний збіг, тому що похибка не перевищує 11%.

Згідно з діючими у цей час нормативними документами, безпека руху транспорту на переїздах оцінюється коефіцієнтами небезпеки  $K_H$  з чисельними значеннями від 0 до 17. При цьому переїзд вважається безпечним, якщо  $K_H < 1,0$ ; малонебезпечним, якщо  $K_H = 1,0 - 2,0$ ; небезпечним, якщо  $K_H = 2,0 - 3,0$  і дуже небезпечним, якщо  $K_H > 3,0$ . Одним з недоліків цієї методики є те, що вона ефективна при оцінці безпеки переїздів з кількістю переміщень АЗ в один мільйон одиниць за рік та більше.

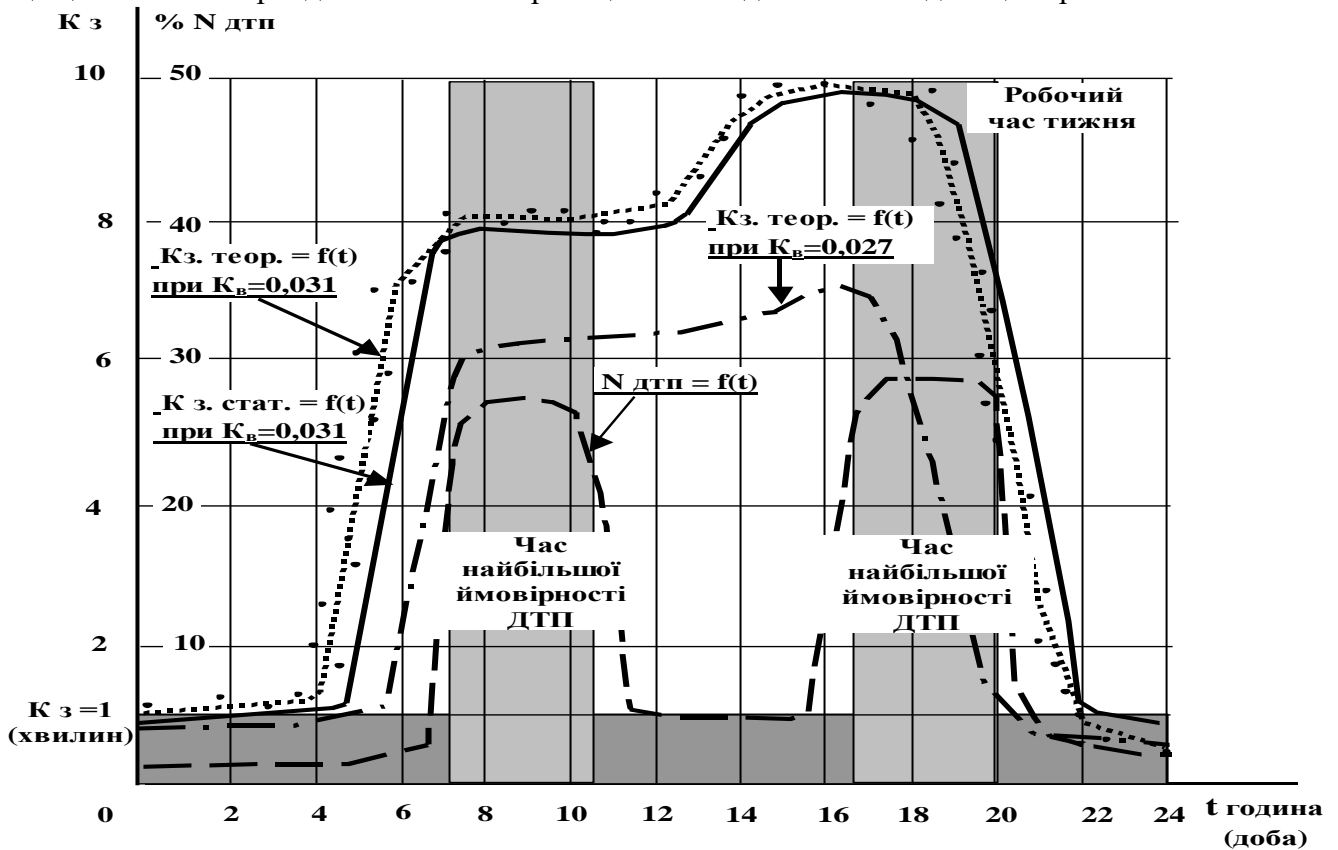


Рис. 2. Залежність коефіцієнта затримки автотранспортних засобів та кількості ДТП від години доби

У той же час на залізницях України експлуатуються велика кількість переїздів, на яких розміри прослідувань АЗ в один мільйон можуть бути досягнуті протягом багатьох років, і тоді оцінити небезпеку такого переїзду за допомогою зазначеної методики за рік та за менший термін часу  $T$  дуже важко. Встановлено, що для ефективної оцінки безпеки руху транспорту на переїздах при значному рості інтенсивності руху та зміні його техніко - експлуатаційних характеристик недоцільно використовувати методи, які були розроблені раніше і не враховували коефіцієнт завантажування переїздів. Тому для оцінки безпеки переїздів пропонується використовувати удосконалений метод розрахунку коефіцієнта

безпеки  $K_{\text{бп}}^T$ , чисельні значення якого повинні змінюватися у межах  $0 \leq K_{\text{бп}}^T \leq 1$ . Значення цього коефіцієнта з урахуванням показників процесу функціонування транспорту для одного переїзду за термін часу  $T$  пропонується визначати, як

$$K_{\text{бп}}^T = K_{\text{з.п}}^T (1 - K_a^T) = \frac{P_{\text{п фак.}}}{P_{\text{п макс.}}} \left[ 1 - \frac{(t_a + t_{\text{п}}) n_{\text{дтп}}}{(n_a - n_{\text{а.а}}) t_a + (n_{\text{п}} - n_{\text{п.а}}) t_{\text{п}}} \right], \quad (22)$$

а групи переїздів

$$K_{\text{бп гр}}^T = \sum_{i=1}^n K_{\text{з.п}_i}^T (1 - \sum_{i=1}^n K_{\text{а}_i}^T) = \sum_{i=1}^n K_{\text{з.п}_i}^T \left[ 1 - \sum_{i=1}^n \frac{(t_{\text{а}_i} + t_{\text{п}_i}) n_{\text{дтп}_i}}{(n_{\text{а}_i} - n_{\text{а.а}_i}) t_{\text{а}_i} + (n_{\text{п}_i} - n_{\text{п.а}_i}) t_{\text{п}_i}} \right], \quad (23)$$

де  $n_a$  і  $n_{\text{п}}$  – число АЗ і поїздів, що проїхали через переїзд без ДТП;  $n_{\text{а.а}}$  і  $n_{\text{п.а}}$  – число АЗ і поїздів, що брали участь у ДТП;  $t_a$  і  $t_{\text{п}}$  – середній час заняття переїзду АЗ і поїздом;  $n$  – число переїздів у групі.

На підставі аналізу статистичних матеріалів з ДТП, а також значення максимальної і фактичної пропускної спроможності визначені можливі значення  $K_{\text{бп}}^T$  для переїздів різної категорій для одного ДТП (табл.2).

Таблиця 2

Значення коефіцієнта безпеки переїздів різних категорій

Коефіцієнт безпеки переїзду	Коефіцієнт завантаження $K_{\text{з.п}}^T$	Залізничні переїзди			
		I категорії	II категорії	III категорії	IV категорії
$K_{\text{бп}}^T$	0,9	0,89934	0,89901	0,89866	0,89613
	0,8	0,79954	0,79914	0,79881	0,79656
	0,7	0,69969	0,69883	0,69896	0,69699
	0,6	0,59977	0,59845	0,59811	0,59742
	0,5	0,49986	0,49877	0,49812	0,49785

З урахуванням вимог нормативних документів щодо оцінки умов руху транспорту визначені значення граничного коефіцієнта безпеки переїздів різних категорій  $K_{\text{б.п. п}}^T$  при  $K_{\text{з.п}}^T = 0,9$  (табл. 3).

Таблиця 3

Граничні значення коефіцієнта безпеки переїзду різних категорій

Граничні значення коефіцієнта безпеки переїздів	Залізничні переїзди			
	I категорії	II категорії	III категорії	IV категорії
$K_{\text{б.п. п}}^T$	0,89892	0,89866	0,89733	0,89226

Порівнюючи значення  $K_{\text{бп}}^T$  і  $K_{\text{б.п.п}}^T$ , можна об'єктивно планувати реконструкцію автомобільної дороги та СК ЗП безпосередньо до будівництва розв'язок у різних рівнях.

**Третій** розділ присвячений розробці основ технічної реалізації перспективних СК ЗП. Визначені можливості внутрішніх та зовнішніх параметрів цих систем, і для оцінки ступеня пристосування їх до безпечного регулювання руху транспорту запропонований критерій оцінки їх

ефективності. Розроблені загальні принципи систематизації СК ЗП, що дозволило класифікувати експлуатовані та перспективні системи за критерієм часу сповіщення на автоматичні системи переїзної сигналізації з фіксованою ділянкою сповіщення ( АПС –  $\Phi_{Lc}$  ), з фіксованим часом за параметрами швидкості ( АПС –  $\Phi_{t_{c.v}}$  ), з фіксованим часом закритого стану загороджувальних пристроїв ( АПС -  $\Phi_{t_3}$  ), з контролем усіх параметрів руху поїзда (АПС - КП ). Розглянуті їх основні принципи побудови, алгоритми функціонування, основні схемні вузли та елементна база. Встановлено, що під час експлуатації систем мають місце випадки, коли при в'їзді поїзда на ділянку сповіщення ЗП переїздів не включалися або їх інформація викривлялася такою мірою, що не могла сприйматися водіями АЗ як заборонна. Основною причиною таких випадків, як свідчить статистика ДТП, є перекручування колійними датчиками (КД) ділянок сповіщення інформації про стан контрольованої ними рейкової лінії. Ці датчики по своїй суті є зворотними перетворювачами вхідної інформації  $J_{вх}$  про наближення до переїзду поїзда у вихідну  $J_{вих.к.д}$ , і науковий інтерес представляє визначення їх ймовірнісних характеристик функціонування.

Виходячи з теорії перемикаючих пристроїв, вихідний сигнал такого перетворення може набувати таких значень:

$$J_{вих.к.д} = \begin{cases} 0 - \text{при в'їзді поїзда на ділянку сповіщення;} \\ 1 - \text{при відсутності поїздів на ділянках сповіщення.} \end{cases} \quad (24)$$

Аналіз можливого впливу викривлення значення вихідного сигналу КД-  $J_{вих.к.д}$  на стан ЗП, а також умови безпечного руху транспорту показує, що на переїзді можуть виникати відмови (табл.4).

Таблиця 4

## Характер відмов загороджувальних пристроїв

Стан ділянки сповіщення до переїзду	Вихідний сигнал колійного датчика ( $J_{вих.к.д}$ )	Вихідний сигнал загороджувальних пристроїв ( $J_{вих}$ )	Характер відмов пристроїв
$J_{вх} = 1$	$J_{вих.к.д} = 1$	$J_{вих} = 0$ (режим вимикання ЗП)	небезпечний
	$J_{вих.к.д} = 1 - 0 - 1 - 0 \dots$ (перемежований режим)	$J_{вих} = 0$ (режим вимикання ЗП)	небезпечний при $t_{ц} > 8c$
		$J_{вих} = 1$ (режим вмикання ЗП)	безпечний
$J_{вх} = 0$	$J_{вих.к.д} = 0$	$J_{вих} = 0$ (режим вимикання ЗП)	безпечний
	$J_{вих.к.д} = 0 - 1 - 0 - 1 \dots$ (перемежований режим)	$J_{вих} = 0$ (режим вимикання ЗП)	безпечний
		$J_{вих} = 1$ (режим вмикання ЗП)	безпечний

Встановлено, що небезпечні відмови КД можуть виникати з двох причин:

- 1) недостатнього фактичного зменшення амплітуди шунтового струму  $I_{ф.ш.р}$ , що протікає через обмотку колійного реле, до рівня надійного неспрацьовування  $I_{н.ш.р}$ , тобто  $I_{ф.ш.р} > I_{н.ш.р}$  або постійного замикання загальних і фронтних контактів цього реле через їх «зварювання» з причини перевищення величини струму, що протікає через контакти  $I_{к}$ , щодо величини струму їх «зварювання»  $I_{з.к}$ , тобто  $I_{к} > I_{з.к}$ ;
- 2) ушкодження елементів РД, при яких колійне реле постійно знаходиться під струмом і не знеструмлюється при в'їзді поїзда на ділянку сповіщення.

Для оцінки невиконання шунтового режиму РД ділянок сповіщення, як найбільш важливого з погляду небезпечного впливу на СК ЗП, пропонується використовувати такі ймовірнісні показники:  $P_{н.шр}$  – ймовірність невиконання шунтового режиму і  $P_{з.к}$  – ймовірність „зварювання” загальних і фронтових контактів. Умови невиконання шунтового режиму КД описуються рівняннями, що одночасно характеризують модель небезпечного впливу процесу функціонування СК ЗП:

$$P_{н.шр}^* = P^*(I_{ф.шр} - I_{н.шр} > 0) = P^*(I_{н.шр} < I_{ф.шр}),$$

$$P_{з.к}^* = P^*(I_{к} - I_{з.к} > 0) = P^*(I_{з.к} < I_{к}). \quad (25)$$

Дослідженнями, виконаними з використанням зазначеної моделі, встановлено, що сумарна середня статистична ймовірність невиконання КД шунтового режиму роботи  $P_{н.шр}^*$  і  $P_{з.к}^*$  дорівнює 0,00011 у РД із безупинним живленням і 0,00032 – з імпульсним живленням, і при цьому похибка обчислень не перевищує 9,5%.

Установлено, що підвищення надійності функціонування КД може бути досягнуто з одночасним контролем параметрів рейкової лінії ділянки сповіщення на різних частотах чи спектрах багатofакторного контролю параметрів рейкової лінії спеціальними КД накладення. У роботі розглянуті принципи побудови і способи технічної реалізації зазначених КД з урахуванням обробки інформації про параметри руху прискорених і швидкісних поїздів. Розроблено еквівалентні схеми заміщення КД, що представляють собою каскадне з'єднання трьох чотириполюсників  $H_0$ ,  $K_L$  і  $K_0$ , методи електротехнічного розрахунку й аналізу їх параметрів, а також виконана класифікація цих датчиків (рейкових кіл накладення).

Аналіз сучасних тенденцій удосконалювання систем інтервального регулювання руху поїздів (ІРРП) вказує на два принципові їх напрямки. Перший із них – це розробка і впровадження нових систем автоматичного блокування, електричної централізації, безстиківих КД, пристроїв диспетчерського керування і контролю, запису і зчитування даних і т.п. з напольним розміщенням устаткування. Це “наземні” пристрої, які, як відомо, розміщуються уздовж усієї мережі залізниць і є дорогим устаткуванням.

Другим і більш перспективним варіантом подальшого удосконалювання систем ІРРП є використання супутникових пристроїв навігації для визначення координат місцезнаходження і параметрів руху поїздів. При такому варіанті ліквідується напільне устаткування існуючих перегінних систем ІРРП і, що найважливіше, КД. Це вимагає перегляду процесів функціонування СК ЗП переїздів, тому що на таких ділянках залізниць повинні функціонувати цілком самостійно з такими принципами керування ЗП:

1) включення ЗП повинне здійснюватися на основі сигнальної інформації про координату місця перебування поїздів, одержуваної від пристроїв супутникової навігації, а їх вимикання – за інформацією про прослідування останнього вагона поїзда небезпечної зони переїздів, яка одержана від рейкових КД;

2) для забезпечення надійного функціонування СК ЗП переїзний супутниковий навігаційний приймач повинен здійснювати прийом сигнальної інформації не менше ніж від трьох супутників;

3) логічна обробка і збереження великого обсягу інформації про наближення поїздів і параметри їх руху повинні здійснюватися за допомогою промислових контролерів з достатнім

обсягом електронної пам'яті;

4) для виконання сучасних вимог з безпеки руху транспорту на переїздах СК ЗП повинні доповнюватися пристроями автоматичного контролю аварійних ситуацій;

5) інформація про небезпечні ситуації для руху транспорту на переїздах і ушкодження елементів СК ЗП повинна автоматично передаватися на локомотиви поїздів і водіям АЗ.

Аналіз розглянутих принципів керування ЗП вказує на можливу технічну реалізацію СК ЗП переїздів ділянок залізниць з розглянутими пристроями ІРРП на основі перспективних систем, таких як АПС – КП і АПС – ФЛГ.

Встановлено, що релейно-контактні логічні СК ЗП, які експлуатуються на залізницях України і країнах СНД, мають послідовну структуру побудови, “жорсткий” алгоритм функціонування, недостатню швидкодію і малу електронну пам'ять. Несправність будь-якого елемента такої системи призводить до порушення алгоритмів їх функціонування і, як наслідок, до часткового чи повного викривлення сигнальної інформації ЗП, яка передається водіям АЗ.

Усунути зазначені недоліки і тим самим підвищити ефективність процесів регулювання руху транспорту через переїзди можливо за рахунок розширення функціональних можливостей СК, і особливо, у частині самодіагностики. Реалізація таких СК ЗП на релейно- контактній елементній базі дуже ускладнене, і тому найбільш перспективним напрямком є застосування сучасної і високонадійної елементної бази – мікропроцесорної техніки.

Необхідний рівень надійності функціонування мікропроцесорних СК ЗП може бути досягнутий за рахунок збільшення їх швидкодії за традиційним принципом обробки інформації чи організації послідовно-рівнобіжного принципу роботи за існуючої швидкодії. У результаті досліджень встановлено, що на сучасному етапі можлива реалізація СК ЗП з використанням декількох промислових контролерів з послідовною і рівнобіжною обробкою інформації. У роботі розроблені перспективні принципи і структури побудови інтелектуальних мікропроцесорних СК ЗП стосовно існуючих і перспективних систем ІРРП і визначений вплив можливих відмовлень на надійність і безпеку їх функціонування з урахуванням вимог Європейського стандарту CENELEC ENV 50129.

При виникненні небезпечних відмов у мікропроцесорних СК ЗП процес керування ЗП повинен припинятися й вони переводяться у захисний стан. У дисертаційній роботі визначена загальна ймовірність відмов і, особливо, небезпечних.

Усі небезпечні відмови апаратних  $Q_{в.н.а}$  і програмних  $Q_{в.н.п}$  засобів, як свідчить статистика, мають випадковий і незалежний характер. У такому випадку загальну ймовірність безвідмовної роботи мікропроцесорних СК ЗП можна визначити за формулою

$$P_{СК\ ЗП}(t) = [1 - Q_{в.н.а}(t)] [1 - Q_{в.н.п}(t)] \quad \text{при } t_{в} \geq t, \quad t_{в.н} \geq t. \quad (26)$$

Цілком виключити небезпечні відмови СК ЗП важко, тому у роботі обґрунтований вибір структури мікропроцесорних СК ЗП з урахуванням можливості автоматичного виявлення небезпечних відмов як апаратних засобів, так і програмного забезпечення з подальшим парируванням їх впливу у роботі. Встановлено, що стосовно СК ЗП найбільш ефективним методом парирування небезпечних відмов програмного забезпечення є метод зіставлення

проміжних результатів обробки вихідної інформації, отриманої з використанням різних версій програм. Технічна реалізація цього методу парирування небезпечних відмов у СК ЗП може здійснюватися як фізичними, так і тимчасовими каналами. У СК ЗП, реалізованих з урахуванням парирування небезпечних відмов фізичних каналів, повинно бути не менше двох рівнобіжних мікропроцесорних комплектів. Такі системи можуть бути побудовані за принципом ідентичних каналів із жорсткою і м'якою синхронізацією роботи, а також неідентичних каналів з м'якою синхронізацією.

У розділу запропоновані структурні схеми двопроцесорних СК ЗП з жорсткою і м'якою синхронізацією щодо циклів виконаних команд із двома фізичними незалежними каналами з жорсткою синхронізацією у кожному з них, а також з архітектурою нейтронної мережі.

Двопрограмна реалізація СК ЗП дозволить найпростіше виявляти не тільки відмову програмних, але і відмову апаратних засобів. Складність реалізації двопрограмних СК ЗП, і особливо переводу ЗП в захисний стан при небезпечних відмовах, може викликати зайві затримки АЗ. Тому такі СК ЗП найбільш ефективні на переїздах з невисокою інтенсивністю руху транспорту.

На переїздах з високою інтенсивністю руху транспорту найбільш ефективним є застосування СК ЗП з двома незалежними каналами і жорсткою синхронізацією в кожному з них. Використання чотирьох мікропроцесорних контролерів і необхідність повного адаптивного регулювання вказує на можливість побудови найбільш перспективної СК ЗП з архітектурою нейтронної мережі. У результаті використання розроблених В. Швіром, Дж. Кольєром, С. Адомітом, Х.Христовим і Вл. і В. Сапожніковими методів і математичних моделей структурного аналізу визначена ймовірність першої потрійної, як небезпечної, відмови, що складає не більше  $10^{-10}$ . Встановлено, що розроблені структури побудови мікропроцесорних СК ЗП значною мірою відповідають вимогам Білої книги Європейської комісії «Європейська транспортна політика до 2010 року: час рішень».

**Четвертий розділ** присвячений питанням моделювання процесів функціонування переїздів з різними СК ЗП, метою якого є визначення можливих транспортних затримок перед переїздами. Як показник оцінки ефективності функціонування переїздів запропоновано використовувати коефіцієнт затримки АЗ  $K_3$ , що зрозумілий усім «споживачам», статистично ефективний і прямо залежить від інтенсивності руху АЗ  $\lambda_{a.z}$ , поїздів  $\lambda_{п}$ , а також коефіцієнта безпеки  $K_{бп}$ . У розділі визначені особливості процесів моделювання і розроблені їх алгоритми. В основу процесів моделювання покладені такий принцип: будь-яке зменшення фактичної швидкості руху поїздів чи АЗ у порівнянні з розрахунковою приводить до значних їх затримок. При зменшенні швидкості руху АЗ на переїзді такі затримки визначаються, як

$$t_{з.аз} = \int_{\ell_H}^{\ell_K} \left| \frac{1}{V_{a.фак.ср}(\ell)} - \frac{1}{V_{a.роз}(\ell)} \right| d\ell, \quad (27)$$

а при зупинці їх перед переїздами

$$t_{3,аз} = \int_{\ell_H}^{\ell_K} \left| \frac{1}{V_{a.фак.ср}(\ell)} - \frac{1}{V_{a.роз}(\ell)} \right| d\ell + t_3, \quad (28)$$

де  $V_{a.фак.ср}(\ell)$  і  $V_{a.роз}(\ell)$  - відповідно фактична середня і розрахункова швидкості руху АЗ;  
 $\ell_H$  і  $\ell_K$  - відповідно місце знаходження перед і після небезпечної зони переїзду;  
 $t_3$  - час зупинки АЗ у ЗП.

Виходячи з того, що процес руху АЗ через переїзд має дві періодично повторювані фази - відкритого  $t_B$  і закритого стану  $t_3$ , його можна вважати циклічним із часом циклу  $t_{Ц} = t_B + t_3$ , і число яких залежить від інтенсивності руху поїздів  $\lambda_{П}$ . Далі розглянуті характерні риси індивідуального і групового руху АЗ на автомобільних дорогах перед переїздами та в їх небезпечних зонах. У процесі моделювання в залежності від інтенсивності руху поїздів  $\lambda_{П}$  спочатку визначається число циклів спрацьовування ЗП -  $Nt_{Ц}$  і, виходячи з цього, - сумарна кількість затриманих АЗ  $n_{3,а}$  за час усіх циклів, а потім, використовуючи розроблену ймовірну модель руху транспорту за критерієм транспортних затримок, - середні і сумарний часи затримки АЗ  $t_{3,аз}$  і  $T_{3,аз}$ , а також коефіцієнт затримки  $K_3$ .

Розглядаючи процес нагромадження і розосередження черги АЗ біля переїзду у кожному циклі враховується інтенсивність руху АЗ до переїзду  $\lambda_{аз,д}$ , небезпечною зоною  $\lambda_{аз,п}$ , а також тривалість тимчасових періодів  $t_3$  і  $t_B$ . При цьому найбільш характерними є процеси з повним ( $\lambda_{аз,д} < \lambda_{аз,п}$ ) або частковим розосередженням ( $\lambda_{аз,д} > \lambda_{аз,п}$ ) черги АЗ за час  $t_B$ .

При обчисленні числа затриманих АЗ  $n_3$  у першому і в другому випадках визначаються значення періодичної функції інтенсивності руху АЗ -  $\lambda_{аз,д}(t)$  і  $\lambda_{аз,з}(t)$ , відповідно до і за переїздом.

Оскільки процес руху потоку АЗ перед переїздом здійснюється у вигляді груп зі швидкістю руху їх головних автомобілів, а в небезпечній зоні вони, в основному, формуються в єдину колону, то для спрощення обчислень функція  $\lambda_{аз,д}(t)$  розкладається в ряд Фур'є і визначається, як  $\bar{\lambda}_{аз,д}(t)$

$$\bar{\lambda}_{аз,д}(t) = \lambda_{аз,с} + \sum_{i=1}^{\eta} [a_i \cos(\frac{2\pi}{t_{Ц}} t) + b_i \sin(\frac{2\pi}{t_{Ц}} t)], \quad (29)$$

де  $\eta$  - кількість членів ряду Фур'є;

$\lambda_{аз,с}$  - середня інтенсивність руху АЗ до переїзду

Практичними дослідженнями вибору необхідного числа членів ряду Фур'є встановлено, що при збільшенні числа членів ряду Фур'є функція  $\lambda_{аз,д}(t) \rightarrow \bar{\lambda}_{аз,д}(t)$  і при  $n \rightarrow \infty$  -  $\lambda_{аз,д}(t) = \bar{\lambda}_{аз,д}(t)$ , і вже при  $\eta = 3$  одержані результати вказують на достатнє наближення -5%. Після інтегрування і перетворення ця функція може бути записана у такому вигляді:

$$\bar{\lambda}_{аз,д}(t) = \lambda_{аз} + \sum_{i=1}^{\eta} [a_i^! \cos(\frac{2\pi}{t_{Ц}} it) + b_i^! \sin(\frac{2\pi}{t_{Ц}} it)], \quad (30)$$

де  $a_i^!$  і  $b_i^!$  - члени ряду Фур'є.

У тих випадках, коли при і-ому циклі виконується нерівність  $\lambda_{аз,д} < \lambda_{аз,п}$ , і в кінці періоду часу  $t_{B,i}$  черга АЗ у ЗП переїзду цілком розосереджується, що характерно для малої та середньої інтенсивності руху АЗ, для цих випадків найбільш ефективна наступна модель визначення

середнього часу затримки АЗ. За цією моделлю на переїзді за час  $t_3$  може зосереджуватися черга з  $n_{3.1i}(t)$  АЗ і вона за час  $t_{в.1}$  розосереджується з інтенсивністю  $\lambda_{аз.п}$ , тоді обов'язково виконується умова

$$\lambda_{аз.п} t_{в.1} > \int_0^{t_{ц1}} \bar{\lambda}_{аз.д1}(t) dt. \quad (31)$$

За час наближення чергового поїзда і його руху через переїзд  $t_{3.1}$  збирається черга АЗ з кількістю автомобілів

$$n_{аз.з1} t_{ц1} = \int_{t_{в1}}^{t_{ц1}} \bar{\lambda}_{аз.1}(t) dt + \int_{t_{в1}}^{t_{1}} \lambda_{аз1}(t) dt \approx \lambda_{аз.п} t_1. \quad (32)$$

У цьому випадку середній час затримки АЗ за час одного і циклу при розглянутій моделі складає

$$t_{3.аз} ср t_{ц1} = n_{3.аз} t_{ц1} t_{3.аз} ср, \quad (33)$$

де  $t_{3.аз} ср$  і – середній час затримки  $k$ -ї АЗ.

У випадку високої інтенсивності руху транспорту через переїзд, коли  $\lambda_{аз.д} > \lambda_{аз.п}$ , будуть мати місце випадки, коли за час  $i$ -го циклу деяка частина АЗ, яка під'їхала до переїзду, не встигне проїхати небезпечну зону за час  $t_{в.1}$ . Стосовно таких випадків більш ефективною є модель, за якою за час  $t_3$  біля переїзду може зосереджуватися черга з  $n_{3.а.2i}(t)$  АЗ і при цьому вона за час  $t_{в.1}$  розосереджується з інтенсивністю  $\lambda_{аз.п}$ , але не повністю. Це значить, що

$$\lambda_{аз.п} t_{в1} < \int_0^{t_{ц1}} \bar{\lambda}_{аз.д1}(t) dt. \quad (34)$$

У цьому випадку у момент закінчення часу  $t_в$  поблизу ЗП переїзду утвориться черга АЗ, рівна  $n_{3.аз.i}(t_в) > 0$  і тоді за час  $t_3$  і-го циклу біля переїзду збирається черга з числом АЗ

$$n_{3.аз i+1}(t) = \left\{ \int_0^{t_{ц1-1}} \bar{\lambda}_{аз.д1-1}(t) dt - \int_{t_{в1-1}}^{t_{ц1-1}} \bar{\lambda}_{аз1-1}(t) dt \right\} + \left\{ \int_0^{t_{ц1}} \bar{\lambda}_{аз.д1}(t) dt - \int_{t_{в1}}^{t_{ц1}} \bar{\lambda}_{аз1}(t) dt \right\}. \quad (35)$$

Середній час затримки АЗ при зазначених умовах процесу їх руху визначиться, як

$$t_{3.аз} t_{ц1+1} = n_{3.аз1} t_{3.аз} ср_1 + n_{3.аз1-1} t_{3.аз} ср_{1-1}. \quad (36)$$

Визначення сумарних середніх затримок АЗ за тривалий період часу, наприклад, доба, здійснюється

$$\sum_{t=1}^{24} T_{3.азt} = \sum_{t_{ц1}=1}^{N t_{ц1}} n_{3.аз} ср_1 t_{3.аз} ср_{t_{ц1}} + \sum_{t_{ц2}=1}^{N t_{ц2}} n_{3.аз} ср_1 t_{3.аз} ср_{t_{ц2}}. \quad (37)$$

У тих випадках, коли на переїзді відбувається ДТП ( $K_{бп} < 1$ ), рух АЗ через нього припиняється на час відновлюваних робіт  $t_{в.а}$  і тоді сумарні середні затримки АЗ складають

$$\sum_{t=1}^{24} T_{3.азt} = \sum_{t_{ц1}=1}^{N t_{ц1}} n_{3.аз} ср_1 t_{3.аз} ср_{t_{ц1}} + \sum_{t_{ц2}=1}^{N t_{ц2}} n_{3.аз} ср_1 t_{3.аз} ср_{t_{ц2}} + \sum_{t_{дтп}=1}^{N_{дтп}} n_{1,дтп} t_{в.а} t_{дтп}. \quad (38)$$

Сумарний середній час затримки поїздів при ДТП на переїзді, при якому припиняється їх рух по всіх залізничних коліях, визначається, як

$$T_{3.пср} = T_{3.пср} + (1 - P_{2п}) T_{3.2пср} + (1 - P_{3п}) T_{3.3пср} + \dots + (1 - P_{Nп}) T_{3.Nпср}. \quad (39)$$



Використовуючи дані статистичних спостережень (інтенсивність руху поїздів 88 пар/добу; довжина поїздів 850 м; швидкість руху поїздів 82 км / год., інтенсивність руху АЗ до 6,6 тис. од. / добу та довжина переїзду 14,5 м) на регульованому переїзді першої категорії 769 км перегону Харків – Сортувальний – Дергачі Південної залізниці, обладнаного системою АПС –  $\Phi L_c$ , виконане моделювання процесів руху транспорту і визначені затримки АЗ. При цьому в процесі моделювання при незмінних зовнішніх параметрах переїзду і параметрах руху транспорту по черзі імітувалася заміна системи АПС –  $\Phi L_c$  на системи АПС –  $\Phi t_3$ , АПС –  $\Phi t_{c,v}$ , АПС – КП і АПС –  $\Phi L_r$ . У результаті моделювання процесів руху транспорту через переїзд із безупинним рухом поїздів встановлені (рис.3):

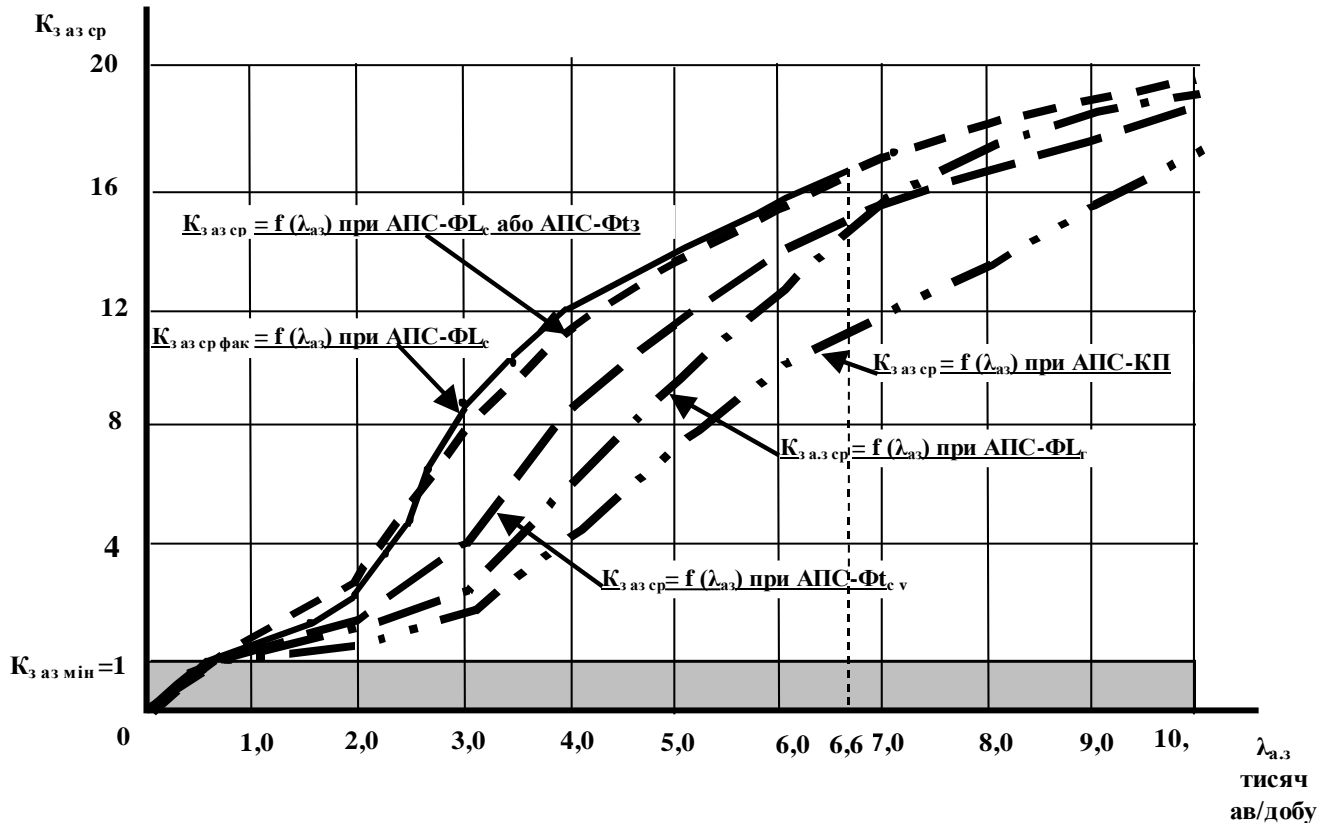


Рис.3. Залежність середнього коефіцієнта затримки автотранспортних засобів від інтенсивності його руху

а) максимальна похибка моделювання при системі АПС –  $\Phi L_c$  не перевищує 10 %;

б) при  $\lambda_{аз}$  до 500 авто/добу  $K_{з,ср} \approx 1$ , зі збільшенням  $\lambda_{аз}$  до 4 тис. авто/добу, що найчастіше зустрічається на практиці,  $K_{з,ср} \approx 4$  за системою АПС – КП,  $K_{з,ср} \approx 6$  за системою АПС –  $\Phi L_r$ ,  $K_{з,ср} \approx 8$  за системою АПС –  $\Phi t_{c,v}$  і  $K_{з,ср} \approx 10$  за системою АПС –  $\Phi L_c$  й АПС –  $\Phi t_3$ . При  $\lambda_{аз} = 8$  і більше тис. авто/добу  $K_{з,ср} \approx 16-17$  при широко експлуатованих системах АПС –  $\Phi L_c$  і  $K_{з,ср} \approx 12-14$  при перспективних системах АПС – КП і АПС –  $\Phi L_r$ .

Зважаючи на те, що середні затримки АЗ будуть перевищувати припустимі значення у вісім – десять разів, можна зробити висновок про низьку ефективність експлуатації переїздів і доцільність будівництва замість них шляхових розв'язок у різних рівнях.

**П'ятий розділ** присвячений розробці основ інформаційного забезпечення процесів керування ЗП небезпечних об'єктів залізничного транспорту, зв'язаного з оптимізацією ДК ЗП, діагностуванням і прогнозуванням технічного стану ЗП і систем їх керування, а також

автоматизацією контролю стану небезпечних зон.

Здійснюваний за останні роки перехід регульованих переїздів з черговими в категорію без чергових супроводжується скороченням їх штату і перебудовою СК ЗП. У більшості випадків на переїздах, розташованих у межах чи поблизу станцій, влаштовується ДК ЗП черговими станцій (ДСП). За статистичними даними, на таких переїздах відбуваються десятки ДТП, і однією з їх причин є несвоєчасне керування ЗП, викликане воно недостатньою інформацією ДСП про процеси руху транспорту на переїздах і неоптимальним розташуванням органів ДК.

У результаті виконаних досліджень встановлено, що за допомогою зору ДСП обробляється до 81% і за допомогою слуху біля 15% усієї технологічної інформації. Для збільшення обсягу цієї інформації, особливо візуальної, в окремих випадках застосовуються пристрої технічного «зору» – промислове чорно-біле телебачення. Встановлено, що ефективність і об'єктивність зорової оцінки відеозображення ДСП може бути підвищена за рахунок аналізу ними кольорового відеозображення процесів руху транспорту. Дослідження показали, що у результаті природності сприйняття зображення транспортних процесів час аналізу інформації зменшується з 1,2 хвилин до 25 - 35 секунд, що дозволить оптимізувати процес керування ЗП і тим самим зменшити кількість ДТП. Однак, при кольоровому представленні зображення транспортних процесів на відеомоніторі обов'язковим є зменшення розмірів їх об'єктів, і з цієї причини, у силу законів суб'єктивного сприйняття інформації, частково порушується колір дрібних об'єктів. Для компенсації цього недоліку встановлені особливості кольорового відеоконтролю процесів руху транспорту, розроблені алгоритми послідовного і рівнобіжного оптимального представлення кольорового відеозображення і принципи оптимального розташування моніторів у приміщенні ДСП. Встановлено, що оптимальні пристрої ДК ЗП переїздів повинні складатися з двох схемних вузлів, що складаються з пристроїв: відеоспостереження за процесом руху транспорту та безпосередньо ДК. Виходячи з того, що ДСП керують ЗП за допомогою рук, що, як відомо, можуть рухатися зі швидкістю від 5 до 800 см/с і мають функціональний поділ, виявлено, що за моторними функціями у 85-90 % випадків провідною є права рука, але за рівнем розходження статичних напруги і дотику – ліва. Дослідження прийнятого розташування органів ДК ЗП на пультах керування свідчать, що їх проектування здійснюється без урахування особливостей функціонального поділу можливостей рук людини. У результаті цього виконання ДСП декількох установлених проміжних дій із кнопками ДК, просторово рознесеними на пульті, у короткий період часу дуже ускладнено. Оскільки ДТП виникають швидко, а також за результатами практичних досліджень, запропоновано розміщати органи ДК ЗП на пультах керування поблизу провідної, як правило, правої руки.

Виходячи з того, що усі СК ЗП мають послідовну структуру побудови, відмовлення їх елементів приводить до повного чи часткового переключування сигнальної інформації ЗП, переданої водіям АЗ. Значне скорочення кількості відмов і зменшення часу на їх усунення може бути досягнуте в результаті ефективного прогнозування стану елементів СК ЗП. Для його здійснення в силу особливостей СК ЗП розроблений окремий алгоритм екстраполяції. Він повинний застосовуватися для встановлення майбутніх моментів часу передвідмовного стану і відмовлення системи та зводиться до визначення багатомірної векторної функції

$$F = Q(\bar{X}, t), \tag{40}$$

де  $(\bar{X}, t)$  – функція стану системи в періоди  $t_0 \dots t_n$  відомого періоду часу  $T_{\text{спов}}$ .

Спочатку обчислюються значення функції  $\bar{X}(t_0), \bar{X}(t_1), \bar{X}(t_2), \dots, \bar{X}(t_n)$  у моменти часу  $t_0, t_1, \dots, t_n$ , а потім після підстановки у відому в теорії прогнозування модель  $W(\bar{X}, t)$  визначаються значення функції  $\bar{X}(t_{n+1}), \dots, \bar{X}(t_{n+j})$  у майбутні моменти часу  $t_{n+1}, \dots, t_{n+j}$ . У результаті цього можуть бути отримані необхідні статистичні характеристики. Оцінювання за відомим критерієм небезпеки  $K_0$  стану СК ЗП може визначити категорію можливої відмови (небезпечні чи безпечні) і такі найбільш важливі параметри, як середній час і ймовірність критичної зміни параметрів систем у цілому і їх окремих елементів.

Ефективний процес регулювання руху транспорту через небезпечні зони може бути отриманий у результаті автоматизації контролю аварійної ситуації. З цією метою в різних країнах світу протягом тривалого часу розроблялися кілька пристроїв, але широкого застосування, на жаль, вони не одержали. Гостра необхідність у розробці таких пристроїв очевидна, і тому в дисертаційній роботі розроблені сучасні вимоги, яким повинні вони відповідати, виконана їх класифікація як за принципом дії, так і по застосовуваних датчиках. Це дозволило установити, що більшості вимог відповідають розроблені в останні роки замкнуті і розімкнуті промислові телевізійно-обчислювальні пристрої (ПТОП). У розділі розроблені принципи їх побудови, алгоритми функціонування і структурні схеми з урахуванням того, що процес функціонування пристроїв на основі ПТОП повинний ґрунтуватися на реалізації поетапного порівняння фактичного стану небезпечної зони  $S_{\phi}$  з безпечним  $S_6$ . Періодично в залежності від зміни погодних умов, стану навколишнього середовища і дорожнього покриття повинна автоматично обновлятися інформація про безпечний стан небезпечної зони. Далі розглянуті можливі структурні схеми таких пристроїв і обґрунтована необхідність використання не менше двох відеокамер. Встановлено, що процес функціонування промислового контролера, як пристрою аналізу інформації від відеокамер, повинний здійснюватися шляхом первинного «накладення» інформації відеозображення від однієї камери на іншу, а потім порівняння результативної інформації з інформацією безпечного стану небезпечної зони. У такому випадку сигнал від відеокамер  $\bar{X}_1(t)$  і  $\bar{X}_2(t)$  у будь-який момент часу  $t$  можна подати таким чином:

$$\bar{X}_1(t) = \left\{ \begin{matrix} j_{1,1}^1, j_{1,2}^1, j_{1,3}^1, \dots, j_{1,n}^1 \\ j_{2,1}^1, j_{2,2}^1, j_{2,3}^1, \dots, j_{2,n}^1 \\ \dots \\ j_{m,1}^1, j_{m,2}^1, j_{m,3}^1, \dots, j_{m,n}^1 \end{matrix} \right\}_t, \quad \bar{X}_2(t) = \left\{ \begin{matrix} j_{1,1}^2, j_{1,2}^2, j_{1,3}^2, \dots, j_{1,n}^2 \\ j_{2,1}^2, j_{2,2}^2, j_{2,3}^2, \dots, j_{2,n}^2 \\ \dots \\ j_{m,1}^2, j_{m,2}^2, j_{m,3}^2, \dots, j_{m,n}^2 \end{matrix} \right\}_t, \tag{41}$$

де  $j_{m,n}^1$  і  $j_{m,n}^2$  – обсяг інформації від першої і другої відеокамер про стан елементарної ділянки (пікселя) відеокадру небезпечної зони з координатами в кадрі  $m$  і  $n$  у момент часу  $t$ .

У цілому процес аналізу цієї інформації промисловим контролером описується матричною функцією  $\bar{Y}(t)$  з такими її значеннями

{

$$\vec{Y}(t) = f\{\overline{X}_1(t) \cap \overline{X}_2(t)\} = \begin{cases} J_{jk} = 1 & \text{за наявності перешкод у небезпечній зоні;} \\ J_{jk} = 0 & \text{при відсутності поїздів на ділянках сповіщення;} \end{cases} \quad (42)$$

де  $j = \overline{1, m}$ ;  $k = \overline{1, n}$ .

Практичною частиною досліджень встановлено, що в небезпечній зоні переїздів можуть знаходитися як безпечні, так і небезпечні для руху транспорту об'єкти, що мають різні геометричні розміри. Це вказує на необхідність їх розпізнавання з погляду безпеки, що може бути виконано відомим програмним шляхом, використовуючи інтелектуальний режим з регулюванням чутливості до яскравості і кольору об'єкта. Для прискорення процесу розпізнавання відеозображення будь-якого об'єкта в небезпечній зоні, включаючи й АЗ, доцільно аналізувати не за інформацією пікселів, а за їх визначеною групою, об'єднаною в чуттєві зони. Максимальне число пікселів у таких зонах залежить від точності визначення контурів і розмірів об'єктів і, як встановлено, не повинно перевищувати більше двохсот у кожному кадрі зображення. Зміною чутливості до границь зображення небезпечної зони можна організувати автоматичний контроль стану тільки в суворо встановлених межах. Оскільки безпечні об'єкти мають малі геометричні розміри, то, як показують практичні дослідження, одиничне значення зони повинне присвоюватися тільки в тому випадку, якщо близько 78% площі її має той самий колір. Дослідженнями також встановлена можливість переключення інформації чуттєвих зон, основними з яких є «змазування» зображення контурних границь АЗ через вібрацію відеокамер і недостатню частоту спрацьовування їх електронного затвора. Це дуже ускладнює однозначне визначення факту стану небезпечної зони стаціонарного стану АЗ і тому процес функціонування промислового контролера повинний здійснюватися з урахуванням компенсації можливих переключень. Також встановлена природа просторових переключень і виконане теоретичне обґрунтування визначення величини зони змазування границь об'єктів. Для підвищення надійності функціонування розглянутого пристрою і для зменшення погрішності обчислення параметрів руху АЗ пропонується використовувати дві відеокамери. З урахуванням цього розроблені принципи функціонування переїзного відеошвидкоміра і теоретичне обґрунтування визначення параметрів руху об'єктів небезпечною зоною. Встановлені оптимальні залежності між максимальними фокусними відстанями об'єктивів відеокамер і зменшенням поля огляду пристроїв. Практичні дослідження показали, що при використанні в ролі фотоперетворювачів матриць ПЗС погрішність у визначенні швидкості руху АЗ складає  $\pm 0,3$  км/год.

**У шостому розділі**, базуючись на розроблених теоретичних основах безпечного руху транспорту, розглянуті перспективні принципи побудови, структурні схеми й алгоритми функціонування СК ЗП з автоматичним контролем перешкод у небезпечній зоні, з частковим і повним пріоритетом руху через переїзди спеціальних засобів безрейкового транспорту, системи ДК ЗП составів на станційних технологічних коліях, в'їзної та виїзної сигналізації, а також ефективних колійних приймачів.

Розробка ефективних СК ЗП з автоматичним контролем перешкод у небезпечній зоні викликана великою кількістю ДТП, основною причиною яких є несправності і відмовлення АЗ та зупинка їх у зоні переїздів. Перевагою цих систем є те, що вони дозволяють автоматизувати

процес безпечного регулювання руху транспорту на переїздах з маневровим і технологічним рухом составів при зупинках і відстої їх на ділянках сповіщення, а також при неможливості облаштування перед переїздом ділянок наближення розрахункової довжини. Досвід експлуатації цих систем на десятках найбільш складних переїздів, що до цього були обладнані хрестоподібними дорожніми знаками, показав можливість не тільки значного підвищення умов безпеки руху транспорту, скорочення ДТП на 36-38% і збільшення пропускної спроможності на 35-41%, але і скорочення чергових на переїздах. На підставі позитивних результатів експлуатації варіантів цієї СК ЗП Головним управлінням сигналізації і зв'язку МШС СРСР телеграмою № 3/5278 від 27.06.1985 р. було запропоноване широке впровадження їх на всій мережі залізниць, що продовжується до цього часу.

Багато технологічних виробництв мають тісний тимчасовий і поетапний зв'язок від доставки складових компонентів спеціальними АЗ. Затримки таких АЗ біля переїздів через пріоритет руху по них поїздів приводять до значних економічних витрат. На таких переїздах обов'язково організовується чергування працівників і застосовується малоефективний ручний спосіб керування ЗП. Стосовно цих переїздів розроблені принципи керування ЗП, алгоритми функціонування, структурні і принципіві схеми з урахуванням прийомних пристроїв сигналів пріоритетного руху АЗ. У результаті впровадження такої СК ЗП автоматизується процес пріоритетного безпечного пропуску АС спеціального призначення і скорочується штат чергових на переїздах. Експериментальні дослідження ефективності системи на переїзді показали зниження середньорічного коефіцієнта ризику затримок АЗ  $R_z$  до 0,3, який складає щодо експлуатованих систем близько 0,6.

На залізничних коліях технологічних станцій магістрального і промислового транспорту виконується ряд операцій з рухомим складом, основними з них є: огляд, ремонт, екіпірування і дезінфекція рухомого складу; механізоване навантаження і вивантаження вантажів; злив і налив різноманітних рідин у цистерни і т.п. При виконанні цих операцій обслуговуючий персонал, а також вантажно-розвантажувальна і ремонтна техніка може наближатися до рухомого складу на небезпечну відстань. При несанкціонованому, навіть незначному, пересуванні рухомого складу грубо порушуються умови безпеки проведення робіт, що приводить до підвищення рівня травматизму й ушкодження зазначеної техніки. Основними причинами такого пересування рухомого складу є мимовільний рух незакріплених вагонів, несанкціонований в'їзд чи виїзд локомотивів маневрових составів. Для виключення зазначених випадків у залежності від колійного розвитку станцій і модифікації пристроїв електричної централізації застосовуються три відомих способи дистанційного огородження состава на колії. Через недостатню ефективність цих способів огородження і, особливо, при центральному керуванні маршрутизованими пересуваннями для малих, середніх і великих станцій розроблений четвертий спосіб огородження составів на колії. Суть цього способу полягає в обов'язковому відводі і замиканні стрілок в охоронне положення, чим виключається можливість в'їзду маневрового состава на огорожену колію. Як ЗП при такому способі можуть використовуватися маневрові чи поїзні світлофори. У розділі розроблені принципи безпечного ДК цими ЗП, їх алгоритми функціонування і принципіві схеми, що реалізують цей спосіб огородження станційних технологічних колій.

Результати широкого впровадження системи на ряді промислових підприємств і станцій технологічного обслуговування складів свідчать про її надійність функціонування і повне виключення в'їзду маневрових составів та інших рухомих одиниць залізничного транспорту на огорожені колії.

Виробничі процеси локомотивних і вагонних депо, заводів щодо виготовлення і ремонту залізничного рухомого складу, а також багатьох промислових підприємств тісно зв'язані з в'їздом і виїздом маневрових составів із закритих виробничих приміщень. Такі пересування повинні виконуватися з використанням правил і норм безпеки руху. Для керування ЗП і технологічними воротами таких виробничих приміщень у 70–ті рр. минулого сторіччя була розроблена спеціальна СК, що у наш час повністю не відповідає сучасним вимогам із забезпечення безпеки руху і функційних можливостей.

Виконуючи всі сучасні вимоги безпеки праці, розроблені принципи керування ЗП, алгоритми функціонування, структурні і принципові схеми удосконаленої напівавтоматичної системи в'їзної і виїзної сигналізації. ЗП цієї системи є спеціальна сповіщальна сигналізація, яка являє звукові сигнали і світлові транспаранти, що сигналізують про в'їзд чи виїзд маневрових составів. Ця СК ЗП може застосовуватися в приміщеннях з різними циклами виробництва і слуховими даними працівників. Експлуатація цієї системи показала, що прийнятний ризик рівня небезпеки в металургійній і будівельній промисловості за розрахунковий рік зменшився в 1,6 – 1,9 рази. Ефективність експлуатації системи сприяла розробці на її основі інститутом «Харківський Промтрансprojekt» типових проектних рішень у серії: «Уведення залізничних колій 1520 мм у виробничі приміщення» розділу «Типові конструкції, вироби і вузли будинків і споруджень» для широкого впровадження в промисловості.

Для підвищення ефективності функціонування КД накладення розроблені й обґрунтовані оптимальні принципи побудови, алгоритми функціонування, структурні і принципові схеми двохелементних тиристорних колійних приймачів.

Надійне функціонування КД багато в чому залежить від амплітудного значення й асиметрії тягового струму, а також струму автоматичної локомотивної сигналізації, що протікає у рейках. Відомі способи його виміру, і особливо, при електротязі змінного струму мають недостатню точність вимірів, що негативно позначається на процесі регулювання, а також надійності функціонування КД. З метою підвищення точності вимірів зазначених параметрів розроблено удосконалений спосіб їх виконання, суть якого полягає в спеціальному послідовному і рівнобіжному з'єднанні котушки індуктивності через підсилювач з вимірювальним приладом. Вводячи коефіцієнти пропорційності, що враховують співвідношення між струмами в крайніх шинах дросель–трансформаторів, колійних трансформаторів і струмами в приймальних котушках, і перемножуючи на них значення струмів, виміряні приладом, можна одержати значення струмів у рейковому колі. З огляду на простоту технічної реалізації розглянутого пристрою і, досить високу точність одержуваних з його допомогою результатів вимірів, цей спосіб знайшов широке застосування в технології обслуговування пристроїв залізничної автоматики.

Крім тягового струму на роботу рейкових кіл накладення, і особливо, у зонах розташування переїздів, істотно впливають сигнальні струми суміжних рейкових кіл і, особливо, основних при

ушкодженні їх ізолюючих стиків. Ці ізолюючі стики, як відомо, є найменш надійними елементами верхньої будови колії. Розроблені на цей час тональні рейкові кола не вимагають установки ізолюючих стиків, але вони, в основному на залізницях України, застосовуються при новому будівництві. У той же час на ділянках з автоматичним блокуванням (АБ), яким обладнані близько 61% залізничних перегонів України, вони є обов'язковим елементом залізничної колії. Для своєчасного контролю їх ушкодження розроблені принципи побудови, алгоритми функціонування і принципова схема спеціального пристрою контролю стану ізолюючих стиків АБ. За допомогою цього пристрою автоматично визначається стан як одного, так і двох ізолюючих стиків на границі основних рейкових кіл. Пробна експлуатація пристрою підтвердила надійність його функціонування й ефективність контролю стану ізолюючих стиків.

Подальше удосконалення КД зв'язано можливістю одержання з їх допомогою інформації про параметри руху поїздів у межах контрольованих рейкових ліній. Для ефективного керування ЗП переїздів розроблений принцип побудови, алгоритми функціонування і принципові схеми пристрою визначення параметрів руху рейкових транспортних засобів. Суть цього пристрою полягає в амплітудно–частотному перетворенні сигналу про координату місця перебування першої колісної пари поїзда та в наступному обчислюванні параметрів його руху. Пробна експлуатація цього пристрою підтвердила ефективність принципу побудови пристрою і дозволила оптимізувати його принципову схему.

Розроблені СК ЗП, колійних приймачів рейкових датчиків, пристроїв контролю стану ізолюючих стиків, спосіб виміру амплітудного значення й асиметрії тягового струму, а також струму автоматичної локомотивної сигналізації є економічно доцільними і широко впроваджуються на магістральному і промисловому транспорті. Сім їх технічних рішень визнані винаходами.

### **ВИСНОВКИ**

У дисертаційній роботі отримане нове вирішення науково-прикладної проблеми створення ефективних СК ЗП нового покоління небезпечних транспортних об'єктів з використанням функціональних та імітаційних моделей. Розроблена система моделей дозволяє автоматизувати вирішення задач аналізу і синтезу процесів функціонування небезпечних транспортних об'єктів та вибір СК ЗП, а запропоновані нові принципи керування ЗП – проблему підвищення безпеки руху транспорту та зниження нераціональних затримок АЗ.

Теоретичні і методичні розробки дисертаційної роботи можуть бути покладені в основу автоматизованої системи підтримки прийняття рішень при створенні програм розвитку СК ЗП на магістральному та промисловому транспорті, методичному забезпеченні навчальних планів ІППК і ФПК.

Встановлено, що за останні двадцять років на переїздах та інших небезпечних об'єктах залізничного транспорту щорічно відбувається велика кількість аварій, ДТП і складних інцидентів із важкими наслідками для здоров'я людей, інженерного устаткування та транспортних засобів. На переїздах магістрального транспорту тільки за чотири останніх роки відбулося понад 510 ДТП, у яких загинуло 143 та одержали поранення більше 500 осіб. Основними причинами цих аварій і ДТП у небезпечних зонах складних транспортних об'єктів є:

- а) зіткнення поїздів з АЗ, що знаходилися у небезпечній зоні в стаціонарному стані – 29% випадків;

- б) зіпнення поїздів з АЗ, що в'їхали в небезпечну зону ігноруючи заборонну інформацію ЗП – 61% випадків;
  - в) нераціональне ДК ЗП, відмовлення переїзної сигналізації, розвал вантажів і т.п. – 10% випадків.
- Основні наукові результати і висновки дисертаційної роботи полягають у наступному.

1. Визначено, що зниженню безпеки руху транспорту і пропускної спроможності небезпечних транспортних об'єктів значною мірою сприяє недостатня ефективність СК ЗП, принципи функціонування яких були розроблені ще наприкінці 60–х рр. минулого сторіччя та практично до теперішнього часу залишилися без змін. До основних недоліків зазначених систем варто віднести: реалізацію СК ЗП переважно на релейно-контактній елементній базі з «жорстким» алгоритмом функціонування та незначним обсягом електронної пам'яті, неоптимальні принципи керування ЗП і структури побудови СК, обмежені експлуатаційні і діагностуючі можливості, відсутність автоматичного контролю стану небезпечних транспортних зон, малоефективне ДК і використання ручної праці та складного технологічного обслуговування.

2. Доведено, що значне скорочення (на 28–29%) випадків ДТП і збільшення пропускної спроможності небезпечних транспортних об'єктів можливо за рахунок створення СК ЗП нового покоління з ефективними принципами та алгоритмами функціонування.

3. Для оцінки якості функціонування СК ЗП розроблений доцільний з економічної точки зору критерій поточного і сумарного транспортного ризику руху, який враховує такі фактори, як тип СК ЗП, психологічний стан водія, технічний стан АЗ і дорожнього покриття та інше. Запропоновано економічну перевагу СК ЗП оцінювати за сумарним ризиком, а адаптацію їх пристроїв – за поточним ризиком.

4. За допомогою розробленої моделі функціонування переїздів за критерієм безпеки руху транспорту проведено моделювання їх експлуатаційних характеристик і вперше визначена ймовірність ДТП на переїздах усіх категорій з різними ЗП і системами їх керування. Вона складає при одному ДТП на переїздах I категорії – 0,0045, II категорії – 0,0048, III категорії – 0,0052 і IV категорії – 0,0061. Визначено розподілення часу можливого небезпечного і безпечного кінця процесів руху транспорту протягом доби.

5. Встановлено, що при перспективному рості інтенсивності руху транспорту та зміні його техніко-експлуатаційних характеристик недоцільно використовувати методи оцінки безпеки залізничних переїздів, які були розроблені раніше. За допомогою удосконаленого комплексного методу оцінки безпеки залізничних переїздів різних категорій вперше встановлено, що при коливанні коефіцієнта завантажування від 0,5 до 0,9 коефіцієнт безпеки змінюється в межах від 0,49785 до 0,89934, і розраховані його граничні значення. Ефективність цього методу підтверджується широким застосуванням його у практиці проектних інститутів.

6. На підставі розробленої моделі функціонування переїздів за критерієм пропускної спроможності вперше виконана оцінка середніх затримок АЗ при різній інтенсивності руху транспорту та СК ЗП. Зіставлення результатів теоретичних розрахунків і чисельних статистичних спостережень свідчить, що похибка не перевищує 11%. Для повної оцінки нераціональних затримок АЗ запропоновано використовувати не їх абсолютні значення, а значення коефіцієнта нераціональних затримок.

7. Враховуючи перспективні напрямки удосконалювання систем інтервального регулювання руху поїздів, які спрямовані на скорочення та ліквідацію дорогого колійного обладнання, доведена



необхідність розробки мікропроцесорних СК ЗП, що представляють собою незалежні локальні системи із самостійним розв'язанням задач забезпечення безпеки руху транспорту та пропускної спроможності. Запропоновані та обґрунтовані принципи побудови інтелектуальних СК ЗП переїздів залізничних ділянок з різними способами інтервального регулювання руху поїздів, включаючи пристрої супутникової навігації, а також з автоматичним контролем стану небезпечних зон.

8. З використанням кореляційного аналізу небезпечних відмов елементів СК ЗП встановлено, що найбільший негативний вплив на їх надійне функціонування роблять КД. На підставі розробленої моделі їх впливу на процеси функціонування СК ЗП вперше визначені показники ймовірності небезпечних відмов КД з безперервним та імпульсним електропостачанням. Ця ймовірність при безупинному електропостачанні КД складає 0,00012, а при імпульсному – 0,00031. Розроблена класифікація колійних датчиків накладення, виконане узагальнення теоретичного обґрунтування режимів їх функціонування та методів аналізу нормального і шунтового режимів роботи, а також обґрунтовано застосування в цих КД надійних двохелементних колійних приймачів.

9. Для різних процесів функціонування СК ЗП переїздів вперше розроблена імітаційна модель для стаціонарного і нестаціонарного режимів руху транспорту та наявності ДТП. Внаслідок моделювання встановлено, що СК ЗП типу АПС- ФL<sub>c</sub>, які експлуатуються на переїздах України, з погляду затримок транспорту, ефективні тільки при невисокій інтенсивності руху транспорту, а при середній та великій інтенсивності ефективні СК ЗП типу АПС- КП та АПС-ФL<sub>r</sub>. За показниками пропускної спроможності та безпеки руху транспорту визначені основні критерії доцільності будівництва транспортних розв'язок у різних рівнях.

10. Для зниження тривалості часу реакції ДСП з прийняття управлінських рішень ДК ЗП від 1,2 хвилин до 25-35 секунд, що дасть можливість запобігти ДТП, запропоновано використання відеоконтролю процесів руху транспорту у небезпечних зонах. Розглянуті особливості кольорового відеоконтролю транспортних процесів, розроблені перспективні принципи ДК ЗП та алгоритми послідовного і паралельного відображення відеоінформації.

11. Для зниження кількості відмов елементів СК ЗП та тривалості часу їх відновлення, який на цей час складає 94 хвилини, розроблений перспективний принцип прогнозування стану СК ЗП на підставі окремого алгоритму екстраполяції, який сприяє переходу технологічного обслуговування на оптимальний принцип – у залежності від технічного стану.

12. Визначені вимоги до сучасних автоматичних пристроїв контролю стану небезпечної зони транспортних об'єктів, розроблені перспективні принципи та обґрунтована структурна схема такого пристрою на базі кольорового відеоконтролю з інтелектуальним режимом розпізнавання транспортних об'єктів. Розраховані можливі похибки процесів функціонування таких пристроїв, які зв'язані зі «змазуванням» границь транспортних засобів, що рухаються. Теоретично і практично обґрунтовані шляхи зменшення впливу похибок та параметрів руху АЗ за рахунок використання двох відеокамер.

13. Розроблені принципи побудови перспективних СК ЗП:

а) для переїздів з автоматичним контролем стану небезпечної зони переїздів та повним чи частковим пріоритетом у русі спеціальних видів АЗ;

б) для систем ДК ЗП составів на станційних технологічних коліях;

в) для системи ДК ЗП в'їзної та виїзної сигналізації виробничих приміщень з переміщенням маневрових составів.

Розроблені технічні рішення таких систем застосовуються на промисловому та магістральному транспорті та увійшли або є основою типових альбомів таких проектних схемних рішень, як «АПС-93» та «Пристрої в'їзної та виїзної сигналізації».

14. Застосування розроблених СК ЗП і колійних приймачів дозволяє збільшити пропускну спроможність, а також підвищити безпеку небезпечних транспортних об'єктів у 1,4 – 1,7 рази та одержати за рахунок цього економічний ефект близько 2,1 тис. гривень на кожному транспортному об'єкті. Сім технічних рішень та їх пристроїв через свою оригінальність і технічну новизну визнані винаходами. Річний економічний ефект, підтверджений актами впровадження розробок, складає 629,4 тис. гривень і 201,1 тис. російських рублів.

Таким чином, у дисертаційній роботі обґрунтована концепція удосконалення СК ЗП небезпечних об'єктів залізничного транспорту, яка спрямована на підвищення їх ефективної експлуатації.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **ОСНОВНІ ПРАЦІ**

1.Бойник А.Б., Моисеенко В.И. Автоматическая система сигнализации для поездов станций промышленного транспорта // Совершенствование и повышение надежности железнодорожных систем автоматики, телемеханики и связи: Межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск: ДИИТ, 1985. – С. 66-73.

2.Бойник А.Б., Воронько В.А., Кошевой С.В. Автоматическая поезздная сигнализация для подъездных путей с использованием микропроцессора// Применение микропроцессорных устройств в системах железнодорожной автоматики: Сб. науч. тр. – Харьков: ХИИТ, 1988. – Вып.7. – С. 15-19.

3.Математическая модель функционирования железнодорожного поезда/ А.Б. Бойник, В.А. Козел, В.И. Храбустовский, П.Н. Сысенко //Применение микропроцессоров в системах железнодорожной автоматики: Сб. науч. тр. – Харьков, ХарГАЗТ, 1995. – Вып.27. – Ч.2. – С. 19-24.

4.Бойник А.Б. Комплексный метод оценки безопасности поездов// Зб. наук. пр. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – Вип. 49. – С.79-84.

5.Бойник А.Б. Структура микропроцесорних систем керування пристроями обгороджування залізничних переїздів// Зб. наук. пр. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – Вип. № 50. – С. 123-132.

6.Бойник А.Б. Перспективные направления совершенствования систем управления поезздной сигнализацией // Вестник Нац. техн. ун - ту “ХПИ”: Сб. научн. трудов. – 2002. – №7. – Том 2. Новые решения в современных технологиях. – С. 37-40.

7.Полуавтоматическая сигнализация въездной и выездной сигнализации промышленных предприятий / Ю.В. Соболев, А.Б. Бойник, В.М. Соколов, В.П. Мороз, В.А..Воронько, И.И. Никитенко// Автоматика, телемеханика и связь. - 1988.- № 4.- С. 10-12.

8.Дистанционное ограждение составов / А.Б. Бойник, В.А. Воронько, В.Н. Котелевец, И.Н. Чебитько // Автоматика, телемеханика и связь. – 1989. – № 5. – С. 28-30.

9.Автоматическая поезздная сигнализация для подъездных путей/ А.Б. Бойник, В. М. Зозуля, В.А. Воронько, В.Н. Котелевец // Автоматика, телемеханика и связь. – 1992. – № 3. – С. 17-20.

10. Автоматическая переездная сигнализация для подъездных путей/ А.Б. Бойник, А.С. Капуста, А.А. Рогатнев, В.А. Воронько //Автоматика, телемеханика и связь. – 1983. – № 12. – С. 7-9.
11. Бойник А.Б. Безопасность на переездах магистрального железнодорожного транспорта // Залізн. трансп. України. – 2001. – № 2. – С. 29-32.
12. Бойник А.Б., Мороз В.П., Коваленко Г.В. Безопасность неохраемых железнодорожных переездов // Залізн. трансп. України. – 2001. – № 3. – С. 28-30.
13. Бойник А.Б., Коваленко Г.В., Макаренко Р.В. История развития перегонных систем железнодорожной автоматики // Залізн. трансп. України. – 2001. – № 4. – С. 40-43.
14. Бойник А.Б., Германенко О.А. Видеоконтроль опасной зоны железнодорожных переездов // Информ. – керуючі системи на залізн. трансп. – 2001. – № 4. – С. 24-27.
15. Бойник А.Б., Коваленко Г.В., Макаренко Р.В. Современные системы автоматической блокировки// Залізн. трансп. України. – 2001. – № 5. – С.14-19.
16. Бойник А.Б., Коваленко Г.В., Макаренко Р.В. Перспективные системы интервального регулирования движения поездов на перегонах // Залізн. трансп. України. – 2001. – № 6. – С.23-25.
17. Бойник А.Б., Половец С.Э. Промышленное телевидение Харьковского метрополитена // Залізн. трансп. України. – 2002. – № 1. – С. 15-18.
18. Бойник А.Б., Коваленко Г.В. Сравнительная характеристика методов оценки безопасности переездов //Информ.– керуючі системи на залізн. трансп. – 2002. – № 2. – С. 18- 21.
19. Бойник А.Б. Дестабилизирующие факторы процессов движения транспорта через железнодорожные переезды // Информ.–керуючі системи на залізн. трансп. – 2002. – № 3. – С.36-39.
20. Бойник А.Б. Диагностирование и прогнозирование состояния систем железнодорожной автоматики // Залізн. трансп. України. – 2002. – № 4. – С. 2-7.
21. Бойник А.Б. Имитационное моделирование и оценка автотранспортных задержек у железнодорожных переездов // Информ.– керуючі системи на залізн. трансп. – 2002. – № 4,5. – С. 10-12.
22. Бойник А.Б. Вероятностная модель функционирования железнодорожных переездов по критерию безопасности// Залізн. трансп. України. – 2003. – № 1. – С. 29-31.
23. Устройство автоматической переездной сигнализации: А.с. 1047760 СССР, МКИ В 61L 29 / 22 / Ю.В. Соколов, И.З. Скрыпин, А.Б. Бойник, В.А. Воронько (СССР).– № 3438866/-11; Заявлено 17.05.82; Опубл. 15.10.83, Бюл. № 38. – 4с.
24. Устройство для определения параметров движения рельсовых транспортных средств: А.с. 1791255 СССР, МКИ В 61L 23 / 16, В 61L 15 / 20 / Н.Г. Варбанец, А.Б. Бойник, А.А. Удовиков (СССР). – № 49933822 / 11; Заявлено 06.05.91; Опубл. 30.01.93, Бюл. № 4. – 3с.
25. Способ определения токов в рельсовой линии: А.с. 1747303 СССР, МКИ В 61L 25 / 06 / А.А. Рогатнев, А.С. Капуста, Г.М. Кустов, В.К. Жучков, П.П. Золочевский, А.Б. Бойник, Е.А. Луковлева, Ю.В. Гордиенко, Н.В. Оспищев. (СССР). – № 4451191/11; Заявлено 28.06.88; Опубл. 15.07.92, Бюл. № 26. – 6с.

#### ДОДАТКОВІ ПРАЦІ

26. Устройство автоматической переездной сигнализации: А.с. 931556 СССР, МКИ В 61L 29 / 22 / И.З. Скрыпин, Ю.В. Соколов, Н.Г. Варбанец, А.Б. Бойник, В.И. Моисеенко (СССР). – № 3001554/-11;

Заявлено 10.11.81; Оpubл. 30.05.82, Бюл. № 20. – 5с

27. Приемник для рельсовой цепи: А.с. 1306788 СССР, МКИ В 61L 23 / 16 / Ю.В. Соболев, А.Б. Бойник, Е.А. Иванова, А.С. Капуста, В.М Соколов. (СССР). – № 3901434/27-11; Заявлено 27.05. 85; Оpubл. 30.04.87, Бюл. № 16. – 3с.

28. Устройство для контроля схода изолирующих стыков: А.с. 1382723 СССР, МКИ В 61L 23 / 16 / А.А. Рогатнев, А.С. Капуста, В.М. Соколов, С.В. Луковнев, А.Б. Бойник, В.Н. Сучков (СССР). – № 3934835/27-11; Заявлено 26.07.85; Оpubл. 23.03.88, Бюл. № 11. – 2с

29. Путьевой приемник: А.с. 1474008 СССР, МКИ В 61L 23 / 16 / Ю.В. Соболев, В.М. Соколов, С.В. Суярко, В.Я. Сашко, В.В. Завгородний, А.И., Радышевский, В.П. Мороз, А.Б. Бойник, А.С. Капуста (СССР). – № 4258077/27-11; Заявлено 11.04.87; Оpubл. 23.04.89, Бюл. № 15. – 4с

30. Бойник А.Б., Соколов В.М., Рабинович И.И. Компенсационный способ разделения смежных рельсовых цепей// Труды отрас. науч. - техн. конф. /Роль молодых ученых и специалистов в развитии научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте. – М.: МИИТ, 1984. – С.40-41.

31. Бойник А.Б. Безопасность железнодорожных поездов и пути ее повышения //Труды науч.- техн. конф. /Предупреждение наездов подвижного состава на работников железнодорожного транспорта. – Новосибирск, 1985. – Том 2. – С. 51-52.

32. Варбанец Н.Г., Бойник А.Б., Удовиков А.А. Автоматические ограждающие устройства с микропроцессорным управлением// Труды респуб. конф. /Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте, г. Алушта. – Харьков: ХИИТ, 1991. - С.31.

33. Варбанець М.Г., Бойнік А.Б. Принципи побудови мікропроцесорної переїзної сигналізації // Труды 55-й наук.-техн. конф. кафедр ін-ту та спец. залізн. трансп. – Харків: ХІІТ, 1993. – С.52.

34. Варбанец Н.Г., Бойник А.Б. Микропроцессорная автоматическая переездная сигнализация для промышленных предприятий//Труды школы- семинара /Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте, г. Алушта. – Харьков: ХарГАЖТ, – 1994. – С.25.

35. Бойник А.Б., Макаренко Р.В. Особенности работы адаптивной рельсовой цепи без изолирующих стыков// Информ.– керуючі системи на залізн. трансп. – 2000. – № 4. – С. 105-106.

36. Бойник А.Б., Коваленко Г.В. Сравнительная характеристика методов оценки безопасности поездов // Информ.– керуючі системи на залізн. трансп. – 2001. – № 4. – С. 117-118.

37. Бойник А.Б., Половец С.Э. Применение цветного телевидения для повышения качества управления Харьковским метрополитеном // Информ. – керуючі системи на залізн. трансп. – 2001. – №5. – С. 86.

38. Бойник А.Б. Безопасность движения транспорта на железнодорожных переездах // Труды 4-й міжнар. конф. /Вплив людського фактора на безпеку на залізничному транспорті. – Львів, 2001. – С. 12.

39. Бойник А.Б., Половец С.Э. Промышленное телевидение Харьковского метрополитена // Информ.– керуючі системи на залізн. трансп. – 2001. – № 4. – С. 131-132.

40. Бойник А.Б. Влияние отказов элементов систем переездной сигнализации на безопасность движения транспорта // Информ.–керуючі системи на залізн. трансп.: Дод. до журналу. – 2002. – № 4,5. – С.33-34.

#### АНОТАЦІЯ

Бойнік А.Б. Теоретичні основи ефективної експлуатації систем керування загороджувальними пристроями. - Рукопис.

Дисертація на здобуття ученого ступеня доктора технічних наук по спеціальності 05.22.20 – “Експлуатація та ремонт засобів транспорту”, Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2003.

Дисертація присвячена вирішенню науково-прикладної проблеми – підвищення ефективності експлуатації систем керування загороджувальними пристроями небезпечних транспортних об'єктів за рахунок поліпшення якості їх функціонування та проектних рішень, які приймаються для забезпечення безпеки руху і пропускної спроможності транспорту. Розроблені теоретичні основи і створені функціональні моделі щодо визначення затримок транспорту, пропускної спроможності та безпеки руху, обраний показник оцінки якості функціонування небезпечних транспортних об'єктів. Встановлені дестабілізуючі фактори процесів руху транспорту і розроблений комплексний метод оцінки безпеки руху на залізничних переїздах.

Досліджені можливості побудови структури інтелектуальних систем керування загороджувальними пристроями та перспективних колійних датчиків, спрямованих на підвищення експлуатаційної безпеки об'єктів залізничного транспорту і, особливо, залізничних переїздів.

Ключові слова: небезпечний об'єкт залізничного транспорту, переїзд, системи керування, загороджувальні пристрої, колійний датчик, колійний приймач, оптимізація, функціональна модель, діагностика.

#### THE SUMMARY

Boynik A.B. Theoretical principles of effective operation of enhancing devices control systems. – Manuscript.

The dissertation on a scientific degree award of the doctor of technical science on a speciality 05.22.20 – “Operation and maintenance of means of transport”. Kharkov State Academy of Railway Transport, Kharkiv, 2003.

The dissertation is devoted to the solution of an important national-economic and social task – increasing of the efficiency of operation of automatic control systems of enhancing devices for dangerous objects of railway transport. The theoretical principles have been worked out, the functional models for determining transport delays, traffic capacity and safety of traffic have been created, the index of assessment of quality of railway transport dangerous objects functioning have been chosen. Destabilizing factors of transport movement process have been found out and the complex method of assessment of traffic safety on railway crossing has been worked out.

The possibilities of building the structure of intelligent systems of enhancing devices control and data units aimed on increasing the operation of railway transport dangerous objects, especially railway crossings have been studied.

Key words: railway transport dangerous object, railway crossing, control system, enhancing device, track data unit, track receiver, optimization, functional model, diagnosis.

#### АННОТАЦІЯ

Бойник А.Б. Теоретические основы эффективной эксплуатации систем управления ограждающими устройствами - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 – “Эксплуатация и ремонт средств транспорта”, Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2003.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблемы – повышение эффективности эксплуатации систем управления ограждающими устройствами опасных транспортных объектов за счет улучшения качества их функционирования и проектных решений, которые принимаются для обеспечения безопасности движения и пропускной способности транспорта.

Исследованы и путем регрессивного анализа установлены основные причины аварий, дорожно-транспортных происшествий, инцидентов в опасных зонах переездов, производственных помещениях, имеющих ввод железнодорожных путей, и на технологических путях станций.

Для оценки эффективности функционирования переездов предложено применять такой показатель, как текущий и суммарный транспортный риск движения. По значению текущего риска целесообразно оценивать адаптацию систем управления ограждающими устройствами к изменению внешних и внутренних параметров, а по суммарному – экономическую предпочтительность выбора системы управления.

Выявлены характерные особенности движения транспорта и установлены дестабилизирующие факторы его безопасного движения. Определены характеристики их случайных величин и плотность вероятности.

Разработаны модели функционирования переездов по критерию безопасности и транспортных задержек и определены вероятности возникновения дорожно-транспортных происшествий на переездах с различной пропускной способностью. Предложен комплексный метод оценки безопасности транспортных объектов и определены значения коэффициента безопасности применительно к переездам разной категории.

Определено влияние путевых рельсовых датчиков на процессы управления ограждающими устройствами и вероятностные показатели их опасного воздействия, выполнена классификация рельсовых цепей наложения и предложены варианты их эффективных путевых приемников.

Предложены принципы построения, алгоритмы и техническая реализация интеллектуальных систем управления ограждающими устройствами при существующем и перспективном способе регулирования движения поездов и маневровых составов.

В результате анализа причин дорожно-транспортных происшествий определена целесообразность диагностирования и прогнозирования состояния элементной базы систем управления ограждающими устройствами и влияние дистанционного управления ими на безопасность движения транспорта. С учетом особенности управления ограждающими устройствами дежурными по станции и операторами определено эффективное расположение органов их дистанционного управления и предложен частный случай алгоритма экстраполяции при диагностировании элементов систем управления. Исследована возможность применения цветного промышленного телевидения для видеонаблюдения за транспортными процессами, а также автоматического контроля опасных и аварийных ситуаций в зонах пересечения маршрутов движения транспорта в одном уровне.

В результате разработки теоретических и технических основ эффективного управления

ограждающими устройствами разработана концепция их дальнейшего совершенствования. Выполнена оценка экономической эффективности внедрения предложенных мероприятий.

Ключевые слова: опасный транспортный объект, переезд, система управления, ограждающие устройства, путевой датчик, путевой приемник, оптимизация, функциональная модель, диагностика.

**Бойнік Анатолій Борисович**

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕФЕКТИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЗАГОРОДЖУВАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Надруковано з оригіналу автора

Відповідальний за випуск к.т.н., доц. Кустов В.Ф.

Підписано до друку 14.07.2003. Формат паперу А5. Папір для розмножувальних апаратів. Друкування на ризографі. Замовлення 447. Ум. др. арк.1,75. Обл.-вид.л.1,9. Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТу. Свідоцтво ДК №112 від 06.07.2000р.  
Друкарня УкрДАЗТу, 61050, м. Харків-50, м. Фейєрбаха, 7