

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

ГОРОБЧЕНКО ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 629.4.053

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕРГАТИЧНОЇ
СИСТЕМИ «ЛОКОМОТИВНА БРИГАДА – ПОЇЗД»**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант – доктор технічних наук, професор
Тартаковський Едуард Давидович,
Український державний університет залізничного транспорту, кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, завідувач кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Скалозуб Владислав Васильович,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка Всеволода Лазаряна, факультет технічної кібернетики, декан;

доктор технічних наук, професор
Хворост Микола Васильович,
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, кафедра охорони праці і безпеки життєдіяльності, завідувач кафедри;

доктор технічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України
Рамазанов Султан Курбанович,
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, кафедра економічної кібернетики, завідувач кафедри.

Захист відбудеться «3» червня 2016 р. о 11.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий «22» квітня 2016 р.

В.о. ученого секретаря
спеціалізованої вченої ради



О. М. Огар

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Якість та своєчасність прийняття рішень в ергатичній системі «локомотивна бригада-поїзд» обумовлені низкою факторів, основними з яких є наявність та достовірність інформації про поточну поїзну ситуацію, якість її оцінювання та швидкість реакцій на зміни обставин. В теперішній час відбувається глибока модернізація рухомого складу, поступово системи керування локомотивом розвиваються у напрямку зниження ролі локомотивних бригад (ЛБ) в процесі керування поїздом, що дає можливість зменшення шкідливого впливу людського фактору на безпеку та ефективність експлуатації рухомого складу. Кінцевим етапом цього розвитку буде перехід на повністю автоматичне ведення поїздів. Сучасний розвиток систем керування локомотивами, програмного забезпечення та елементної бази не дозволяє досягти цієї мети. Перехідною стадією до керування локомотивом без участі людини є впровадження інтелектуальних локомотивних систем підтримки прийняття рішень (СППР).

В процесі виконання своїх обов'язків ЛБ періодично зазнає значного психофізіологічного перевантаження, що знижує надійність ергатичної системи «локомотивна бригада-поїзд». Показовим є випадок в Іспанії в 2013 р., де в результаті перевищення швидкості машиністом сталася аварія високошвидкісного поїзду, загинуло 80 і травмовано більше 140 осіб. А всього за період з 2011 по 2015 рр. в світі з причини невірних дій ЛБ на залізницях загинуло більше 130 осіб.

Локомотивне господарство Укрзалізниці досягло певних успіхів в підвищенні стану безпеки руху (БР) поїздів. Але частка транспортних подій у локомотивному господарстві з вини працівників в останні роки приблизно однакова (27% в 2010р., 20% в 2011р., 25% в 2012 р., 24% в 2015р., 31% - в 2014 р.). Стан інформаційного забезпечення машиніста знаходиться все ще на недостатньому рівні, що зокрема не дає можливості повноцінного впровадження керування поїздом в одну особу. Для подальшого розвитку потрібно розробляти та впроваджувати принципово нові підходи до керування локомотивом. Виникає необхідність в своєчасному розпізнаванні та недопущенню розвитку нештатних ситуацій в початковий момент, коли вони знаходяться на стадії потенційно можливих, а не таких, що вже склалися та розвиваються в загрозу виникнення аварій та катастроф. Одним з ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є використання інтелектуальних систем в процесах керування поїздом. На сучасному етапі залізниці України, Росії, США, Франції та інших країн широко впроваджують системи підтримки прийняття рішень та інтелектуальні транспортні системи. Основна проблема, що вирішується в даному випадку, це підвищення ефективності організації перевезень та управління транспортом. Що стосується тягового рухомого складу, то в теперішній час, зважаючи на оснащення та принципи керування, він не готовий до повної інтеграції в ці системи.

Таким чином, розвиток наукових основ функціонування ергатичної системи «локомотивна бригада-поїзд» шляхом розробки інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень є актуальною проблемою, що створить умови для подальшого розвитку та підвищення безпеки руху і продуктивності залізничного транспорту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано у відповідності до «Концепції державної програми реформування залізничного транспорту України», затвердженої розпорядженням Кабміну України від 27.12.2006 р №651р, «Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки», яку введено в дію наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 14.10.2008 р №1259. Наукові результати отримані при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт, зокрема: «Розробка інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для локомотивних бригад» (№ДР0114U002896); «Методологія управління технічною експлуатацією модернізованого рухомого складу залізниць України протягом його життєвого циклу» (№ДР0113U001029), у яких автор дисертації є виконавцем і автором звітів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є вирішення науково-прикладної проблеми розвитку наукових основ функціонування ергатичної системи «локомотивна бригада-поїзд» шляхом розробки інтелектуальних локомотивних систем підтримки прийняття рішень.

Для досягнення вказаної мети у роботі поставлені такі наукові задачі:

- дослідити умови та ефективність прийняття рішень локомотивними бригадами в процесі керування поїздом;
- розробити модель прийняття керуючих рішень машиністом під час ведення поїзду та оцінити можливості підвищення ефективності цього процесу;
- провести статистичну оцінку стану безпеки руху, визначити критерій, за яким можливо цей стан охарактеризувати та розробити класифікацію факторів, що впливають на виникнення та розвиток транспортних подій;
- розробити критерії оцінки дій ЛБ під час виникнення нештатних ситуацій для відокремлення та моделювання впливу людського чинника на виникнення транспортних подій в системі локомотивного господарства;
- розробити модель виникнення нештатної ситуації, за допомогою якої можливо оцінити загрозу розвитку її в транспортну подію під час руху поїзду;
- формалізувати задачу визначення корисності рішень, що приймаються СППР в процесі керування поїздом;
- розробити математичну модель динамічної бази знань для забезпечення функціонування локомотивної СППР;
- розвинути теоретичні основи роботи нечіткого класифікатора для функціонування СППР в умовах роботи на тяговому рухомому складі, завданням якого є вироблення керуючого сигналу;
- розвинути концепцію використання СППР на залізничному транспорті в напрямку інтелектуального керування локомотивом;
- доопрацювати теоретичні основи визначення інформаційного навантаження на ЛБ;
- вдосконалити метод побудови схем ситуацій, що виникають під час керування поїздом, та використати його в базі знань інтелектуальної системи на локомотиві;
- оцінити ефективність впровадження локомотивних СППР.

Об'єкт дослідження – процес керування поїздом локомотивними бригадами.

Предмет дослідження – методи та моделі функціонування локомотивних систем підтримки прийняття рішень.

Методи дослідження. Методи теорії імовірності використані для визначення вірогідності транспортних подій та виявлення впливу на них широкого кола факторів. За допомогою методів теорії нечітких множин та нечітких імовірнісних графів описані та формалізовані вихідні дані для моделей дій ЛБ при керуванні локомотивом. Методи теорії гібридних нейромереж та теорії експертних оцінок використані при визначенні характеристик нештатних ситуацій. При прогнозуванні корисності прийнятих рішень по керуванню локомотивом використані елементи теорії ризиків. Для моделювання удосконалених процесів керування рухомим складом використані методи теорії штучного інтелекту, а саме динамічні байєсовські мережі та динамічні мережі прийняття рішень; логіка предикатів першого порядку; теорія розпізнавання образів.

Достовірність одержаних наукових результатів підтверджується задовільною збіжністю розрахункових та експериментальних даних (відхилення не перевищує 11%), що обумовлено відповідністю сформованих моделей характеру вирішуваних задач.

Наукова новизна одержаних результатів. Вирішено науково-прикладну проблему розвитку наукових основ функціонування ергатичної системи «локомотивна бригада-поїзд» шляхом розробки інтелектуальної локомотивної СППР, що дозволило визначити нові підходи до керування поїздом з метою підвищення рівня безпеки руху при експлуатації тягового рухомого складу.

Вперше:

- отримана модель керуючої діяльності машиніста локомотива у вигляді нечіткого імовірнісного графа, за допомогою якої проведено оцінку рішень, що приймаються під час ведення поїзда;

- формалізована задача та розроблений метод визначення складності нештатної ситуації (НС) при веденні поїзду. Це забезпечує реалізацію моніторингу та прогнозування розвитку транспортних подій, а також визначення граничного значення складності НС під час руху поїзду та підходи до використання цієї величини при виробленні керуючого рішення;

- розроблено метод визначення критерію оцінки впливу людського чинника на якість функціонування ергатичної системи «локомотивна бригада-поїзд», за допомогою якого оцінюється здатність ЛБ запобігти розвитку транспортних подій;

- розроблено метод оцінювання корисності рішень локомотивної СППР при керуванні поїздом, що враховує прогнозні значення нештатної ситуації в залежності від прийнятого рішення, витрати палива або електроенергії на підставі тягових розрахунків, відхилення від графіку руху;

- розроблено математичну модель динамічної бази знань локомотивної СППР, що забезпечує її роботу в двох режимах: «Накопичення» (відбувається поповнення і уточнення продукцій) та «Використання» (СППР постійно контролює поточну поїзну обстановку та порівнює її з існуючими продукціями).

Доопрацьовано:

- метод статистичного визначення параметрів безпеки руху, що забезпечує обґрунтування граничної величини кількості показників безпеки руху для локомотивних депо.

- метод визначення імовірності виникнення транспортної події шляхом введення багаторівневої структури факторів, що впливають на виникнення нештатних ситуацій. Головною перевагою такого підходу є точність визначення імовірності виникнення нештатної ситуації завдяки врахуванню розширеного кола впливів.

Дістали подальшого розвитку:

- теоретичні основи роботи нечіткого класифікатора для функціонування СППР на тяговому рухомому складі.

- концепція використання інтелектуальних систем при керуванні локомотивом. У зв'язку з домінуючою роллю людини на сучасному етапі розвитку залізниць доцільно використовувати СППР, залишаючи основні керуючі функції за машиністом. Це дозволить накопичити досвід експлуатації інтелектуальних систем для подальшого їх впровадження не перспективному рухомому складі.

- теоретичні основи визначення інформаційного навантаження на ЛБ, на базі яких визначено шляхи покращення психофізіологічного стану людини під час поїздки.

- метод побудови сценаріїв та схем ситуацій під час керування поїздом. Для подання знань у запропоновану систему доцільне застосування логіки предикатів першого порядку, що дозволило оптимізувати використання ресурсів бортової обчислювальної техніки.

Практичне значення одержаних результатів роботи. На підставі отриманих результатів теоретичних досліджень створено удосконалені алгоритми керування локомотивом та програмні комплекси, які можуть використовуватись при розробці апаратної частини управляючих пристроїв рухомого складу.

В локомотивних службах Південної та Донецької залізниць впроваджено: метод оцінки стану безпеки руху на основі статистичних даних та алгоритми програмного забезпечення для його реалізації; метод визначення інформаційного навантаження на локомотивну бригаду під час поїздки та заходи щодо його зниження. В результаті впровадження запропонованих в роботі заходів очікуваний річний економічний ефект тільки по Південній залізниці у вантажному русі складає 2,048 млн. грн, крім того: підвищується стан безпеки руху за рахунок виявлення та оцінки негативних факторів впливу на експлуатацію локомотивів; покращуються умови роботи локомотивних бригад шляхом виявлення та усунення додаткових чинників, що збільшують психофізіологічне навантаження на працівників. Розроблено та впроваджено в навчальний процес тренажер для ЛБ, що відрізняється використанням інтелектуальних технологій при імітації керування поїздом. Основні результати роботи впроваджено у навчальний процес Навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) при підготовці та підвищенні кваліфікації фахівців спеціальності «Локомотиви та локомотивне господарство».

Особистий внесок здобувача. Всі наукові положення, розробки і результати, що виносяться на захист, отримані автором самостійно і виконані в УкрДУЗТ.

У наукових працях, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок здобувача визначається таким: [9] – проведено аналіз існуючих систем підвищення якості підготовки ЛБ та запропоновано удосконалення тренажерного комплексу; [10] – обґрунтовано спосіб представлення вихідних даних для нейромережі визначення складності нештатних ситуацій; [11] – теоретично обґрунтована максимальна величина кількості транспортних подій в депо; [12] – отримані аналітичні залежності для уточнення моделювання процесу гальмування поїзду; [13] – обґрунтовано термін прогнозування корисності рішень інтелектуальної системи; [14] – розроблено метод визначення критерію для оцінки впливу людського чинника на якість функціонування ергатичної системи «локомотивна бригада-поїзд»; [15] – отримана модель визначення корисності рішення СППР для ЛБ; [16, 28, 39, 42] – розроблено структуру локомотивної СППР; [24] – теоретично обґрунтовано вигляд функції приналежності нечіткого параметру «прогнозована швидкість руху поїзда»; [25] – розроблено модель керуючої діяльності машиніста локомотива за допомогою нечіткого імовірнісного графа; [26] – модель представлення керуючої діяльності машиніста локомотива під час ведення поїзду у вигляді схем ситуацій з використанням логіки предикатів першого порядку; [27] – розроблено модель контролю стану поверхні рейок; [29] – розроблено структуру програмного забезпечення тренажеру для ЛБ; [30] – запропоновано математичні моделі для розрахунку параметрів роботи силового кола електровозів; [31–33] – структура та алгоритми роботи програмних комплексів моделювання процесу керування поїздом; [36] – визначено функції машиніста, що потребують підтримки системою; [44] – розроблено математичну модель динамічної бази знань; [45] – розроблено методологічні основи побудови локомотивних СППР.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях: 70 та 71 Міжнародній науково-практичній конференції (МНПК) "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту", Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту (ДНУЗТ) (м. Дніпропетровськ, 2010 та 2011 рр.); 10 науково-практичній конференції "Перспективи впровадження технічних засобів безпеки на залізницях України" (м. Харків, 2010 р.); 2,4 Міжвузівській науково-технічній конференції "Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування", Донецький інститут залізничного транспорту (м. Донецьк, 2010, 2012 рр.); 3 МНПК "Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті" (м. Херсон, 2011 р.); 2 МНПК "Проблеми рухомого складу: Шляхи вирішення через взаємодію державного та приватного секторів" (м. Ялта, 2011 р.); МНПК "Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті", ДНУЗТ (м. Дніпропетровськ, 2012 р.); МНПК "Наука та освіта транспорту" (м. Самара, 2012 р.); МНПК, присвяченій 110-річчю від дня народження д.т.н., професора Е. Я. Гаккель "Локомотиви. XXI століття" (м. Санкт-Петербург, 2013 р.); 75 МНПК Української державної академії залізничного транспорту (м. Харків, 2013); Науково-практичній конференції з міжнародною

участю «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», Східно-український національний університет ім. В. Даля (м. Сєверодонецьк, 2014 р.).

Повністю дисертаційна робота доповідалась та отримала позитивні відгуки на розширеному науковому семінарі кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу УкрДУЗТ; на міжкафедральному науковому семінарі в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна; на розширеному засіданні кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу за участю членів спеціалізованої вченої ради УкрДУЗТ.

Публікації. Матеріали дисертації опубліковані у 45 наукових працях, з яких 26 основних, в тому числі 24 праці у фахових виданнях затверджених МОН України, 2 праці у закордонних виданнях (15 статей виконано одноосібно; 8 статей у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз), а також 7 додаткових праць (2 патенти України на корисну модель) та 12 праць апробаційного характеру.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків та додатків. Повний обсяг складає 372 сторінок, у тому числі 283 сторінки основного тексту, 25 таблиць, 81 рисунок. Розташовані на окремих сторінках таблиці та рисунки займають 21 сторінку. Список використаних джерел включає 251 найменувань на 28 сторінках, 10 додатків розташовано на 40 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. Вказано напрями впровадження результатів роботи, наведено відомості про апробацію та публікації за темою.

У першому розділі наведено загальний аналіз правильності рішень, що приймаються ЛБ в нештатних ситуаціях. Основними причинами транспортних подій (ТП) у локомотивному господарстві є помилки або некомпетентні дії людини. На людський фактор тут припадає 72,5% подій. З цього числа невірні дії ЛБ були причиною ТП більш ніж у 25%. Якщо проаналізувати несправності основного обладнання тягового рухомого складу, то у більше ніж 84% вони спричинені технічними причинами й майже у 16% - людським фактором. Таким чином можна стверджувати, що зменшення впливу людського фактору на БР є значним резервом її підвищення.

Аналіз існуючих закордонних та вітчизняних розробок дозволяє зробити висновок, що використання автоматизованих систем керування поїздом є перспективним напрямком наукових досліджень. Але ці проекти позбавлені можливості накопичення досвіду керування та самостійного корегування управління з метою покращення показників попередніх поїздок, що в інтелектуальних системах реалізовано у вигляді динамічних баз знань, функцій самонавчання та прийняття рішення при суперечливих вхідних даних.

В процесі функціонування ергатичної системи «локомотивна бригада-поїзд» ЛБ дуже часто приходиться стикатися з вибором та прийняттям раціонального рішення виходячи з інформаційних ситуацій, що мають різну ступінь невизначеності. Для формалізації конфліктних ситуацій, що виникають при цьому,

пропонується метод оцінки прийняття раціональних управлінських рішень в умовах, що мають різні ступені невизначеності. Для цього проаналізовано основні існуючі моделі і в якості найефективнішої обрана інтелектуальна система керування.

Питання підвищення ефективності функціонування ергатичних систем на залізничному транспорті висвітлені в дослідженнях Т. В. Бутько, В. М. Самсонкіна, В. В. Скалозуба. Підвищенню БР та ефективності функціонування транспортних засобів присвятили свої дослідження вчені С. Я. Айзинбуд, О. В. Бажинов, Б. Є. Боднар, А. Б. Бойник, О. Л. Голубенко, В. Х. Далека, І. В. Жуковицький, М. Б. Кельрих, В. Г. Козубенко, І. К. Колесник, В. І. Мойсеєнко, С. В. Мямлін, Є. В. Нагорний, В. І. Омеляненко, В. Г. Пузир, Е. Д. Тартаковський, М. В. Хворост, Н. Б. Чернецька-Білецька, О. Г. Шibaєв, F. Ardeshir, O. Bilenne, E. Druet, K. Hartwig, J. Winter та ін. На розвинення теоретичних основ СППР спрямовані праці С. К. Рамазанова, Б. М. Герасимова, С. Д. Штовби.

Першим етапом впровадження інтелектуальних систем на локомотивах пропонується система підтримки прийняття рішень. Вона здійснить вибір певної кількості рішень, що забезпечать найбільш ефективно та безпечно керування поїздом в конкретних умовах, визначить за певними критеріями найбільш раціональне рішення та запропонує його ЛБ.

Аналіз виконаних робіт показав, що в неповній мірі науково обґрунтовані моделі та методи керування тяговим рухомим складом за допомогою інтелектуальних СППР та оцінка їх впливу на БР. На основі проведеного аналізу у першому розділі сформульовано мету і задачі дисертації. Визначено основні завдання та напрямки досліджень, які дозволять досягти поставленої мети.

У другому розділі розроблено теоретичні основи проектування інтелектуальних локомотивних СППР. Найважливішим елементом управляючої діяльності машиніста є прийняття рішення. Алгоритм дій машиніста локомотива під час керування поїздом представимо у вигляді нечіткого імовірнісного графу, що наведений на рисунку 1.

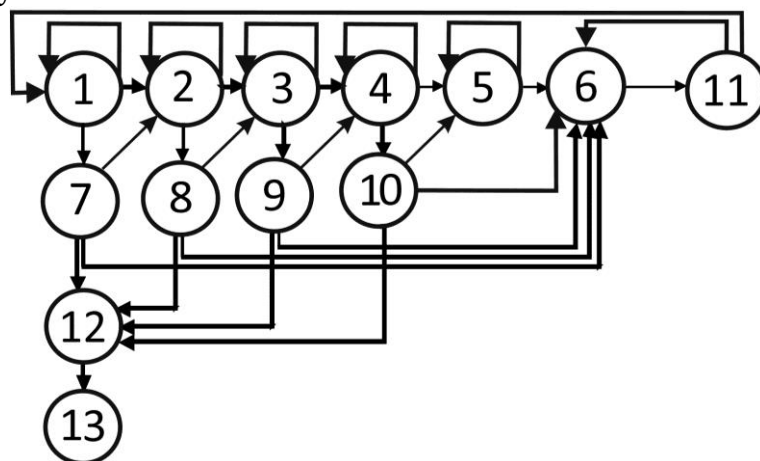


Рисунок 1 – Нечіткий імовірнісний граф алгоритму діяльності машиніста локомотива під час ведення поїзду

Вагові коефіцієнти переходів між вершинами завдані нечіткими числами, значення яких записані в матриці графа. Значення цих коефіцієнтів отримані методом експертних оцінок. Вершинами даного графа є операції, що виконуються

машиністом, а логічні умови – зважені нечіткими імовірно-часовими характеристиками переходу від однієї операції до іншої. Даний граф складається з наступних операцій: 1 – контроль стану та зайнятості колії попереду; 2 – контроль стану сигналів попереду; 3 – контроль стану локомотива; 4 – контроль стану поїзда; 5 – аналіз відповідності режиму керування поточним умовам ведення поїзду (план та профіль колії, швидкісний режим, відстані до сигналів або небезпечних місць, погодні умови та інше); 6 – прийняття керуючого рішення; 7 – оцінка стану колії попереду; 8 – оцінка значення сигналу; 9 – оцінка стану технічного локомотива; 10 – оцінка стану поїзда; 11 – оцінка ефективності прийнятого рішення по керуванню поїздом; 12 – ідентифікація небезпечної ситуації; 13 – перехід керування в режим усунення нештатної ситуації. Представимо нечіткий імовірнісний граф у вигляді L-матриці

$$L = \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} 1 \ 1 \ (0;0,2)_0 \cup (0,05;0,15)_1 \ (0,5;3,5)_0 \cup (1,5;2,5)_1 \\ 1 \ 2 \ (0,1;0,4)_0 \cup (0,25;0,35)_1 \ (0;0,1)_0 \cup (0,03;0,07)_1 \\ 1 \ 7 \ (0,4;0,8)_0 \cup (0,55;0,65)_1 \ (0;4)_0 \cup (0;2)_1 \\ 2 \ 2 \ (0;0,2)_0 \cup (0,05;0,15)_1 \ (0;0,1)_0 \cup (0,03;0,07)_1 \\ 2 \ 3 \ (0,1;0,4)_0 \cup (0,25;0,35)_1 \ (0;0,1)_0 \cup (0,03;0,07)_1 \\ 2 \ 8 \ (0,4;0,8)_0 \cup (0,55;0,65)_1 \ (0;0,1)_0 \cup (0,03;0,07)_1 \\ 3 \ 3 \ (0;0,2)_0 \cup (0,05;0,15)_1 \ (1;4)_0 \cup (2;3)_1 \\ 3 \ 4 \ (0,1;0,4)_0 \cup (0,25;0,35)_1 \ (0;0,1)_0 \cup (0,03;0,07)_1 \\ 3 \ 9 \ (0,4;0,8)_0 \cup (0,55;0,65)_1 \ (0,5;2,5)_0 \cup (1,2;1,8)_1 \\ 4 \ 4 \ (0;0,2)_0 \cup (0,05;0,15)_1 \ (2,5;5,5)_0 \cup (3,5;4,5)_1 \\ 4 \ 5 \ (0,1;0,4)_0 \cup (0,25;0,35)_1 \ (3;7)_0 \cup (4,5;5,5)_1 \\ 4 \ 10 \ (0,4;0,8)_0 \cup (0,55;0,65)_1 \ (0,5;2,5)_0 \cup (1,2;1,8)_1 \\ 5 \ 5 \ (0;0,2)_0 \cup (0,05;0,15)_1 \ (2,5;5,5)_0 \cup (3,5;4,5)_1 \\ 5 \ 6 \ (0,7;1)_0 \cup (0,85;0,95)_1 \ (2,5;5,5)_0 \cup (3,5;4,5)_1 \\ 6 \ 11 \ (0,95;1)_0 \cup (0,99;1)_1 \ (5;11)_0 \cup (7;9)_1 \\ 7 \ 2 \ (0,4;0,8)_0 \cup (0,55;0,65)_1 \ (0;0,1)_0 \cup (0,03;0,07)_1 \\ 7 \ 6 \ (0,29;0,49)_0 \cup (0,34;0,44)_1 \ (2,5;5,5)_0 \cup (3,5;4,5)_1 \\ 7 \ 12 \ (0;0,05)_0 \cup (0;0,02)_1 \ (1;5)_0 \cup (2,5;3,5)_1 \\ 8 \ 3 \ (0,4;0,8)_0 \cup (0,55;0,65)_1 \ (0;0,1)_0 \cup (0,03;0,07)_1 \\ 8 \ 6 \ (0,29;0,49)_0 \cup (0,34;0,44)_1 \ (2,5;5,5)_0 \cup (3,5;4,5)_1 \\ 8 \ 12 \ (0;0,05)_0 \cup (0;0,02)_1 \ (1;5)_0 \cup (2,5;3,5)_1 \\ 9 \ 4 \ (0,4;0,8)_0 \cup (0,55;0,65)_1 \ (0;0,1)_0 \cup (0,03;0,07)_1 \\ 9 \ 6 \ (0,29;0,49)_0 \cup (0,34;0,44)_1 \ (2,5;5,5)_0 \cup (3,5;4,5)_1 \\ 9 \ 12 \ (0;0,05)_0 \cup (0;0,02)_1 \ (1;5)_0 \cup (2,5;3,5)_1 \\ 10 \ 6 \ (0,9;1)_0 \cup (0,98;1)_1 \ (2,5;5,5)_0 \cup (3,5;4,5)_1 \\ 10 \ 12 \ (0;0,05)_0 \cup (0;0,02)_1 \ (1;5)_0 \cup (2,5;3,5)_1 \\ 11 \ 6 \ (0;0,2)_0 \cup (0,05;0,15)_1 \ (2,5;5,5)_0 \cup (3,5;4,5)_1 \\ 11 \ 1 \ (0,7;1)_0 \cup (0,85;0,95)_1 \ (0,5;3,5)_0 \cup (1,5;2,5)_1 \\ 12 \ 13 \ (0,95;1)_0 \cup (0,99;1)_1 \ (0;4)_0 \cup (0;2)_1 \end{array} \right\} \end{array} \quad (1)$$

Нечіткі значення імовірності та часу переходу представимо у вигляді чисел з трапецієвидною функцією приналежності:

$$\begin{aligned}\tilde{p}_i &= \langle \underline{p}_{i0}, \overline{p}_{i0}, \underline{p}_{i1}, \overline{p}_{i1} \rangle, \\ \tilde{t}_i &= \langle \underline{t}_{i0}, \overline{t}_{i0}, \underline{t}_{i1}, \overline{t}_{i1} \rangle,\end{aligned}\tag{2}$$

де $\underline{t}_{i0}(\overline{t}_{i0})$ - нижня (верхня) межа нечіткого числа «час переходу з вершини x_i у вершину y_i » на нульовому α -рівні; $\underline{t}_{i1}(\overline{t}_{i1})$ - теж на одиничному α -рівні; $\underline{p}_{i0}(\overline{p}_{i0})$ - нижня (верхня) межа нечіткого числа «імовірність переходу з вершини x_i у вершину y_i » на нульовому α -рівні; $\underline{p}_{i1}(\overline{p}_{i1})$ - теж на одиничному α -рівні.

Нечіткий імовірнісний граф після алгоритму укрупнення, представлений на рисунку 2.

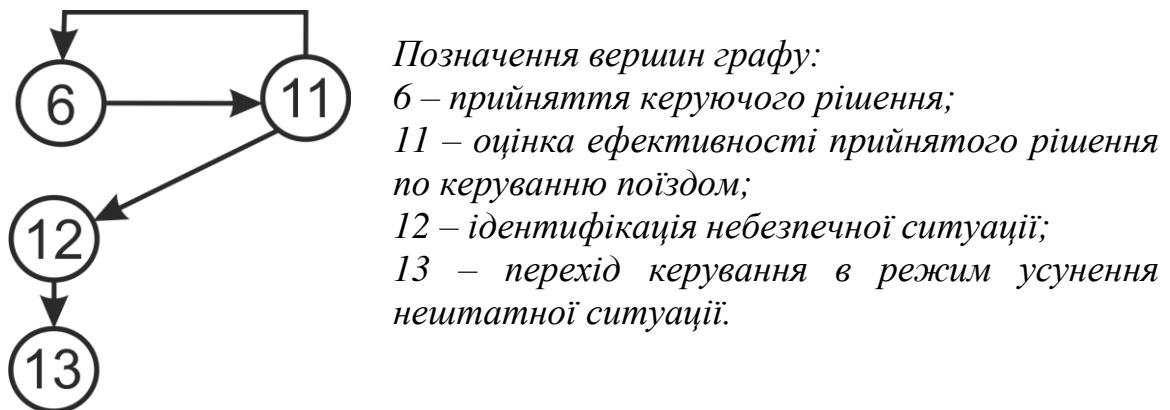


Рисунок 2 – Еквівалентний нечіткий імовірнісний граф керування поїздом.

В результаті укрупнення остаточний вид L-матриці представлений виразом

$$L = \begin{vmatrix} 12 & 13 & (0,95;1)_0 \cup (0,99;1)_1 & (0;4)_0 \cup (0;2)_1 \\ 6 & 11 & (0,95;1)_0 \cup (0,99;1)_1 & (5;11)_0 \cup (7;9)_1 \\ 11 & 6 & (0,1124;1)_0 \cup (0,47;1)_1 & (0,67;15,09)_0 \cup (5,66;13,75)_1 \\ 11 & 12 & (0;0,016)_0 \cup (0;0,0387)_1 & (1,5;14,75)_0 \cup (4;9,38)_1 \end{vmatrix}\tag{3}$$

В результаті аналізу еквівалентного графу отримані наступні параметри:

1. Характеристики дуги (11-6) вказують, що з імовірністю більше 0,5 мінімальний час від аналізу ситуації та оцінки ефективності попереднього керуючого рішення до прийняття наступного керуючого рішення (включаючи рішення не виконувати ніяких дій) знаходиться в інтервалі $[5,66;13,75]$ с.

2. Характеристики дуги (11-12) вказують, що машиніст, після оцінки ефективності прийнятого керуючого рішення, приблизно в 1-2% випадків ідентифікує небезпечну ситуацію. Час, що потрібний для цього, знаходиться в інтервалі $[4,9;9,38]$ с.

Ці параметри свідчать про те, що швидкість прийняття рішень машиністом можливо і потрібно підвищувати. Зменшення часу прийняття керуючого рішення дасть ефект у вигляді підвищення ефективності використання рухомого складу шляхом зменшення відхилення поточного режиму керування від раціонального, що розрахований та наведений в режимних картах. Зменшення часу на ідентифікацію

нештатних ситуацій безпосередньо впливає на безпеку руху, і чим більша поточна швидкість, тим важливіше мати можливість в найкоротший термін виявити небезпеку та вжити заходів щодо її зниження.

Для вирішення задачі створення оптимальної структури розподіленої СППР застосовується агрегативно-декомпозиційний метод, котрий включає два етапи: декомпозицію задачі на низку часткових задач і агрегування часткових результатів. Проектування оптимальної структури локомотивної СППР це процес поступового рішення задач синтезу основних елементів і частин системи.

В результаті аналізу існуючих типів інтелектуальних систем, ієрархій та алгоритмів їх роботи, враховуючи умови роботи ЛБ та залізничного транспорту в цілому, розроблені параметри інтелектуальної СППР (зведені до таблиці 1)

Таблиця 1 – Характеристики СППР для ЛБ

Ознака, за якою класифікується СППР	Найменування параметру	Описання параметру
Тип структурованості проблем, що вирішуються	Слабоструктуровані	Вихідні параметри містять як кількісні, так і якісні елементи: прогнозне значення швидкості та тягового зусилля, складність НС, стан колії, стан агрегатів локомотива і т.і.
Характер розподіленості	Просторово і функціонально розподілені	Складається з окремих зв'язаних між собою бортових локомотивних СППР, що разом вирішують загальну проблему: безпечне та найефективніше керування рухом поїздів на ділянці.
Характер оцінки результатів рішення	Рішення, що об'єктивно оцінюються	Оцінка результату основана на явно заданих критеріях, що визначають досягнення цілі: витрати палива, міжремонтний пробіг, показники безпеки руху тощо.
Характер ситуації, в якій приймається рішення	Екстремальні ситуації	Прийняття рішення по керуванню поїздом характеризується дефіцитом часу та обстановкою, що швидко змінюється.
Тип комп'ютерного аналізу ситуацій	Динамічний	Мається набір сценаріїв по керуванню поїздом, з якого обирається один найбільш ефективний на даний момент

Для можливості використання інтелектуальних СППР опис поточного стану об'єкта керування (поїзда) представляється у вигляді нечіткої ситуації. Необхідною умовою правильності вироблених впливів системи керування є достовірна оцінка станів, у яких перебуває об'єкт керування.

Робота розподіленої СППР базується на комплексі локальних систем (встановлених на локомотивах), що мають зв'язок з оточуючим середовищем та сервером залізниці. В роботі найбільша увага приділена розробці локальної бортової системи, для якої пропонується структура, зображена на рисунку 3.



Рисунок 3 – Структура бортової локомотивної СППР

В якості розвитку концепції використання локомотивних СППР встановлено, що найбільш доцільною для використання ЛБ є СППР, що використовує імовірнісну задачу індивідуального прийняття рішень з векторним критерієм. Для рішення поставлених задач в якості вихідних даних для СППР використовуються такі, що показані на рисунку 4.



Рисунок 4 – Перелік даних на вході та на виході СППР, що проектується

Здобуття знань для СППР виконується з наступних джерел: машиніст; система спостереження і контролю; математична модель руху; архів даних. Безпосередньо процесом ведення поїзда керує машиніст. Головна задача системи полягає в тому, щоб допомогти машиністу прийняти правильні рішення. З досвіду експлуатації локомотивів машиніст приймає під час керування поїздом такі основні елементарні рішення (для керування тепловозом): переведення контролера на вищу (нижчу, нульову) позицію; переведення крану машиніста в положення «Службове гальмування» («Екстрене гальмування», «Перекривання гальмівної магістралі з живленням», «Відпуск гальм», «Поїзне положення»); подавання піску під колісні пари локомотива; подавання сигналу; не виконання ніяких дій.

Для подання знань у розроблювальній системі доцільне застосування логіки предикатів першого порядку (рисунок 5). Логіка предикатів істотно більш виразна, ніж логіка висловлень і дозволяє представляти знання про середовище більш компактно.

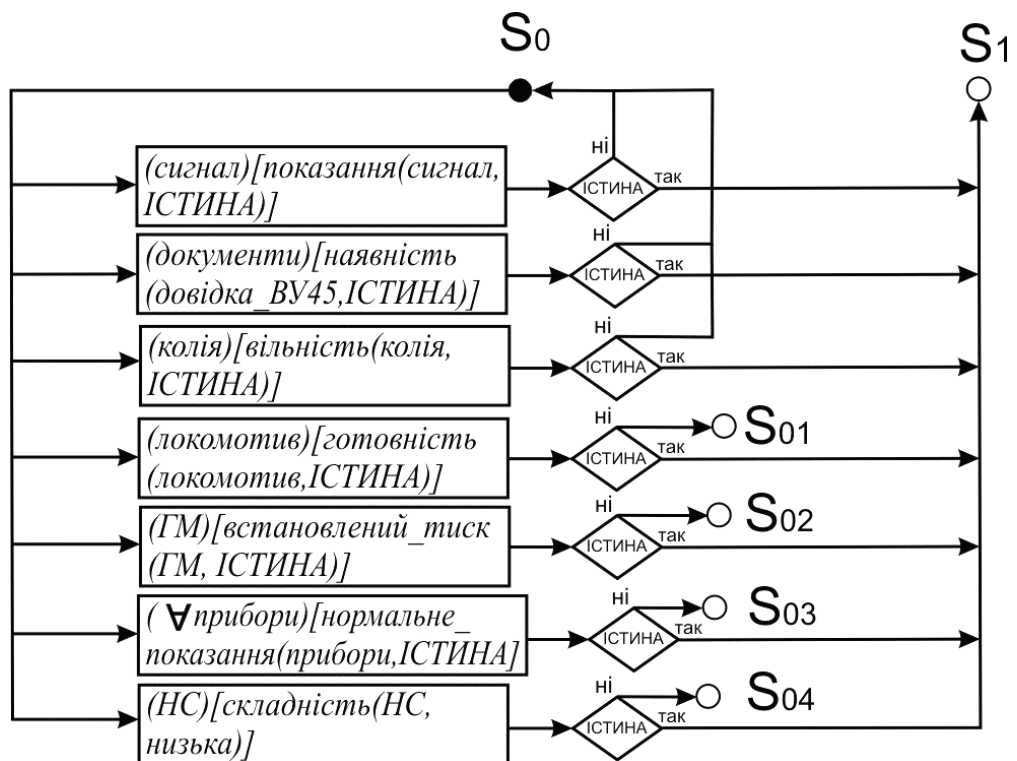
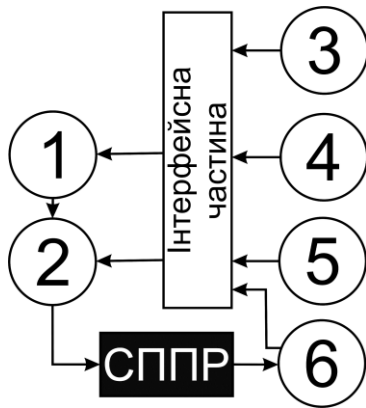


Рисунок 5 – Побудова схеми ситуацій

Будь-яка сучасна інтелектуальна система повинна бути наділена функцією самонавчання. Для умов роботи на локомотивах потрібно розробити теоретичні основи цієї функції. В цій роботі під самонавчанням будемо розуміти комплекс методів і алгоритмів для налаштування і функціонування інтелектуальних систем керування тяговим рухомим складом. Для використання пропонується структура системи, наведена на рисунку 6.



- 1 – база знань;
 2 – нечіткий класифікатор;
 3 – інформація про навколишнє середовище;
 4 – інформація про режим роботи ТРС;
 5 – інформація про положення органів керування ТРС;
 6 – керуючі сигнали СППР

Рисунок 6 – Структура системи самонавчання.

Нечіткий класифікатор (НК) є основним елементом системи самонавчання. Від його роботи залежить ефективність навчання системи та в решті безпека руху поїзду. НК представляє собою нечітку базу знань (рисунок 7), на вхід якої подаються сигнали про поточний стан тягового рухомого складу та навколишнього середовища.

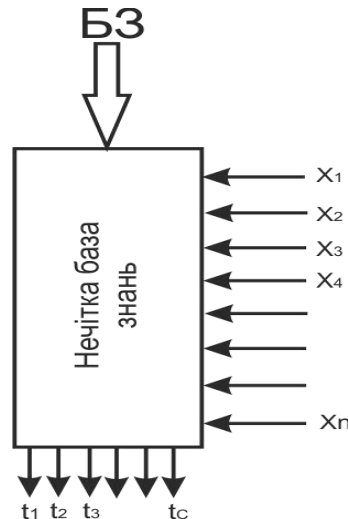


Рисунок 7 – Структура нечіткого класифікатора

Позначимо через $X^* = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – вектор інформативних ознак об'єкту класифікації, а через t_1, t_2, \dots, t_c – класи рішень. В нашому випадку нечіткий класифікатор це відображення $X^* \rightarrow Y \in \{t_1, t_2, \dots, t_c\}$, що реалізується за допомогою нечіткої бази знань. Нечітку базу знань цього відображення запишемо так

Якщо $(x_1=\theta_{1j}$ та $x_2=\theta_{2j}$ та ... $x_n=\theta_{nj}$ з вагою w_j), **тоді** $y = d_j, j = \overline{1, m}$, (4)

де m – кількість правил;

$d_j \in \{t_1, t_2, \dots, t_c\}$ – значення консеквента j -го правила;

$w_j \in [0,1]$ – ваговий коефіцієнт, що задає достовірність j -го правила, $j = \overline{1, m}$;

θ_{ij} – нечіткий терм, що оцінює ознаку x_i в j -ому правилі $i = \overline{1, n} \quad j = \overline{1, m}$.

Ступені приналежності вхідного вектору X^* класам t_1, t_2, \dots, t_c розраховуються так

$$\mu_s(X^*) = \underset{\forall j: d_j = t_s}{agg} (\mu_j(X^*)), s = \overline{1, C}, \quad (5)$$

де agg – агрегування результатів нечіткого висновку по кожному правилу бази знань, що реалізується операцією максимуму над ступенями приналежності.

Результат логічного висновку представимо такою нечіткою множиною

$$\tilde{y} = \frac{\mu_{t_1}(X^*)}{t_1}, \frac{\mu_{t_2}(X^*)}{t_2}, \dots, \frac{\mu_{t_c}(X^*)}{t_c}, \quad (6)$$

Результатом класифікації назначимо рішення з максимальним ступенем приналежності в нечіткій множині (6)

$$y^* = \arg \max (\mu_{t_1}(X^*), (\mu_{t_2}(X^*), \dots, (\mu_{t_c}(X^*))). \quad (7)$$

Згідно рисунка 6, нечіткий класифікатор контактує з базою знань, в котрій знаходиться та оновлюється інформація про реальні дії машиністів під час руху поїзду. На підставі цих даних утворюється навчаюча вибірка з M пар «вхід-вихід»

$$(X_r, Y_r), r = \overline{1, M}, \quad (8)$$

де $Y_r \in (t_1, t_2, \dots, t_c)$.

Введемо наступні позначення: D – вектор параметрів функцій приналежності нечітких термів бази знань; W – вектор вагових коефіцієнтів правил бази знань; $F(K, X_r) \in (t_1, t_2, \dots, t_c)$ – результат класифікації по нечіткій базі з параметрами $K=(D, W)$ при вхідному значенні X_r з r -ого рядка вибірки.

Навчання нечіткого класифікатора полягає в знаходженні вектора K , що мінімізує відстань між результатами логічного висновку і експериментальними даними з вибірки за визначений період часу.

Для реалізації процесу інтелектуального керування рухомим складом основна роль належить базі знань. Для формалізації та представлення знань в пам'яті інформаційних систем існує низка моделей, з яких використовуємо продукційні, котрі в загальному випадку представляються в наступному вигляді

$$N = \langle A, U, C, I, R \rangle, \quad (9)$$

де N – ім'я продукції;

A – сфера застосування продукції;

U – умова використання продукції;

C – ядро продукції;

I – постумови продукції, що актуалізуються при позитивній реалізації продукції;

R – коментар, неформальне пояснення (обґрунтування) продукції, час введення в базу знань, тощо.

Загалом робота бази знань, що спроектована, описується таким алгоритмом. При роботі бази в режимі «Накопичення» відбувається поповнення і уточнення продукцій. Якщо в базі знань знайдено продукцію, що тотожна поточним умовам ведення поїзду, то її вага серед інших продукцій підвищується шляхом підвищення параметра I . Якщо поточні умови ведення поїзду та керуючі дії ЛБ (положення органів керування локомотивом) не співпадають ні з однією існуючою продукцією, то в базу додається нова продукція з поточними значеннями $(z_{j1} \& z_{j2} \& \dots \& z_{ji})$ та $(d_{j1} \& d_{j2} \& \dots \& d_{ji})$.

При роботі бази в режимі «Використання» система постійно контролює поточну поїзну обстановку та порівнює її з існуючими продукціями. У випадку збігу СППР надає рекомендації по керуванню на підставі досвіду бази знань. Якщо поточна обстановка не відповідає жодній існуючій продукції, то не має можливості рекомендувати якісь керуючі дії і множина рекомендованих керуючих дій обнулюється.

Формально процес роботи бази знань описується наступними виразами

$$\begin{aligned}
 U = \text{"Накопичення"} & \begin{cases} \text{при } C_{\text{пот}} \in O_{\text{база}}; C_{\text{бази } i} \equiv C_{\text{пот}}, I_i = I_i + 1 \\ \text{при } C_{\text{пот}} \notin O_{\text{база}}; C_{\text{бази } k+1} \equiv C_{\text{пот}}, I_{k+1} = 1, k = k + 1 \end{cases} \\
 U = \text{"Використання"} & \begin{cases} \text{при } C_{\text{пот}} \in O_{\text{база}}; C_{\text{бази } i} \equiv C_{\text{пот}}, D_{\text{пот}} \equiv D_{\text{бази } i} \\ \text{при } C_{\text{пот}} \notin O_{\text{база}}; D_{\text{пот}} \equiv \emptyset \end{cases}
 \end{aligned} \tag{10}$$

де $C_{\text{пот}}$ – поточне значення умов ведення поїзда та положення органів керування локомотивом;

$O_{\text{база}}$ – множина всіх продукцій, що занесені до бази знань;

$C_{\text{бази}}$ – окрема продукція бази знань;

k - кількість продукцій в базі знань;

$i \in [1; k]$ – порядковий номер продукції в базі знань;

I_i – параметр, що характеризує кількість спостережень i -ї продукції під час наповнення бази знань;

$D_{\text{пот}}$ – поточні керуючі дії ЛБ, що рекомендуються СППР (положення органів керування локомотивом);

$D_{\text{бази } i}$ – перелік керуючих дій, що входять до i -ї продукції: $D_{\text{бази } i} = (d_{j1} \& d_{j2} \& \dots \& d_{jy})_i$.

Таким чином розвинуто теоретичні основи проектування локомотивної СППР за рахунок розробки моделей бази знань та системи самонавчання. Для побудови схем поїзних ситуацій використана логіка предикатів.

У третьому розділі розроблено критерій оцінки БР та теоретичні основи моніторингу її поточного стану підсистемою СППР.

Джерелом для імовірнісної оцінки БР є значення показників кількості транспортних подій, обчислені за статистичними даними для різних депо і доріг. Отриманий в такий спосіб розподіл цих значень слугує характеристикою поточного стану БР у межах дороги або Укрзалізниці і може бути використаний при рішенні завдання визначення максимально припустимої величини показника кількості браків в роботі. Тобто критерій оцінки стану БР пропонується визначати за допомогою виразу (11), тому що імовірність появи більших значень практично мала.

$$x_{\text{max}} = \bar{x} + 2\sigma_x, \tag{11}$$

де x_{max} – максимальне значення кількості транспортних подій; \bar{x} – математичне очікування величини x ; $2\sigma_x$ – подвійне квадратичне відхилення величини x . Розрахунок показує, що максимально припустима величина $x_{\text{max}} = 2,17$ млн.км⁻¹. У випадку, якщо в депо величина x перевищить x_{max} , це повинно бути серйозним сигналом того, що тут рівень безпеки руху перебуває на загрозовано низькому рівні і необхідно термінове втручання.

При аналізі дій ЛБ доцільним виявляється використання терміну «нештатна ситуація», що є більш містким, ніж термін «транспортна подія». Основною характеристикою нештатної ситуації пропонується вважати її складність ($X_{нс}$). Оцінка складності визначається імовірністю виникнення транспортної події в результаті розвитку даної НС не враховуючи реакцію ЛБ на неї. Сенс введення поняття НС полягає в тому, що з'являється можливість розмежування причин виникнення транспортної події і дій або бездіяльності ЛБ по недопущенню браку в роботі. Це є підставою для оцінки впливу на розвиток транспортної події професійної підготовки та психофізіологічного стану машиністів локомотивів.

При визначенні імовірності виникнення НС пропонується розподіл факторів на рівні. Тоді можливо побудувати логічну архітектуру причин виникнення тієї або іншої нештатної ситуації.

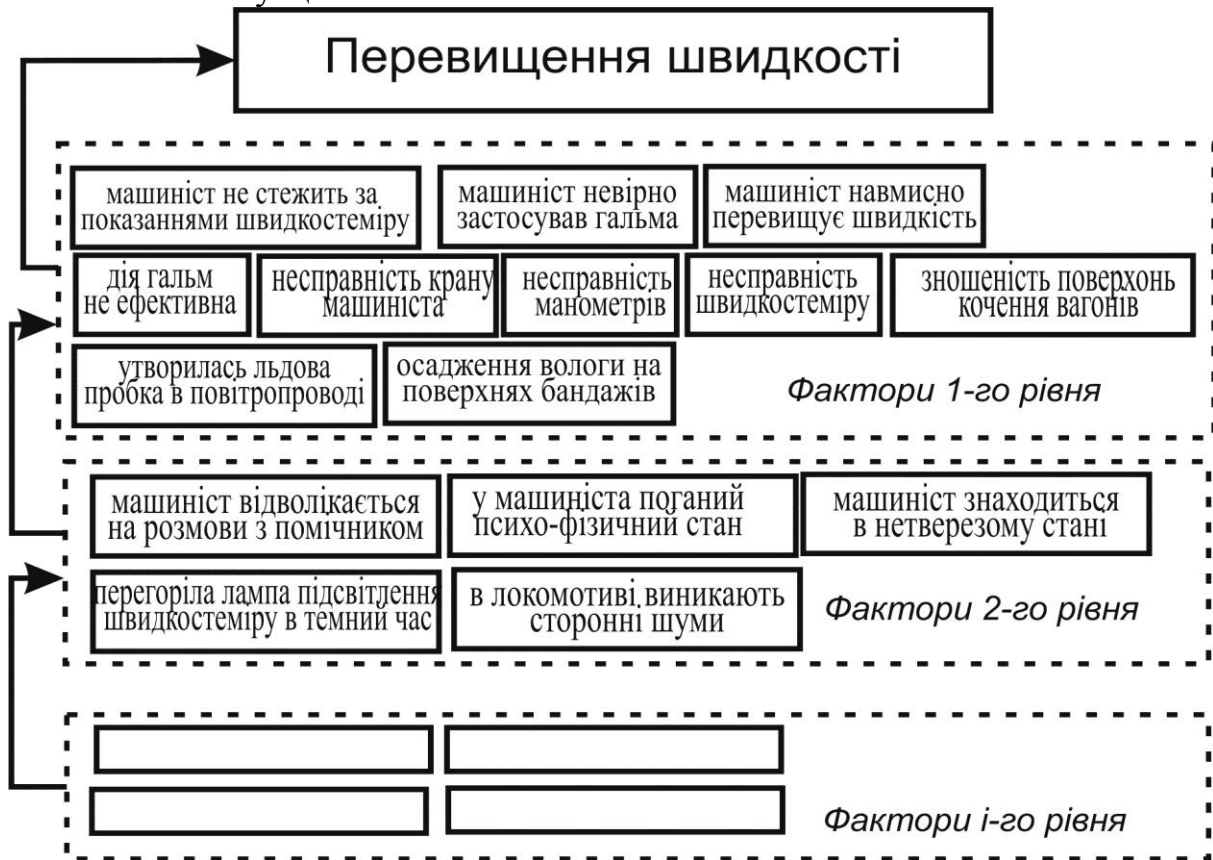


Рисунок 8 – Архітектура факторів, що впливають на виникнення нештатної ситуації «перевищення швидкості»

Таким чином, розглянувши як приклад рисунок 8, можна визначити загальний вираз для розрахунку імовірності виникнення нештатної ситуації:

$$P(C_i) = P(i_1 \cup i_2 \cup \dots \cup i_i) = 1 - (1 - P(i_1)) \cdot (1 - P(i_2)) \cdot \dots \cdot (1 - P(i_i)),$$

$$P(i_i) = P(i_{i1} \cup i_{i2} \cup \dots \cup i_{ij}),$$

$$P(i_{ij}) = P(i_{ij1} \cup i_{ij2} \cup \dots \cup i_{ijk}),$$
(12)

.....

$$P(i_{(n-1)}) = P(i_{(n)} \cup i_{(n)} \cup \dots \cup i_{(n)}),$$

де n – кількість рівнів в архітектурі факторів;

$P(C_i)$ – імовірність виникнення НС;

$P(i_{ij})$ – імовірність виникнення j -го фактору i -го рівня.

Головною перевагою такого підходу до розрахунку імовірності виникнення нештатної ситуації є точність визначення. $P(C_i)$ чітко визначається через імовірності виникнення факторів різних рівнів.

В силу того, що процес виникнення нештатної ситуації є достатньо складним для опису за допомогою імовірнісних виразів, пропонується його моделювання з використанням методів гібридних мереж. Гібридну мережу для моделювання НС наведено на рисунку 9. Перший шар складається з нейронів, що моделюють впливи різних факторів на виникнення нештатної ситуації у відповідності до класифікації: ЛФ – нейрон, моделюючий вплив людського фактору; ТФ – нейрон, моделюючий вплив технічних факторів; ЗФ – нейрон, моделюючий вплив зовнішніх факторів. $x_{лфi}$, $x_{тфi}$, $x_{зфi}$ – сигнали на вході мережі, $w_{лфi}$, $w_{тфi}$, $w_{зфi}$ – ваги сигналів. Фізично вхідними даними моделі є апріорні відомості про поїзд, ділянку колії та ЛБ, сигнали з датчиків, що характеризують умови ведення поїзда (швидкість, показання світлофорів, відстань до світлофора, поточний профіль колії і т. і.), технічний стан локомотива і поїзда, інформація від диспетчера і інше.

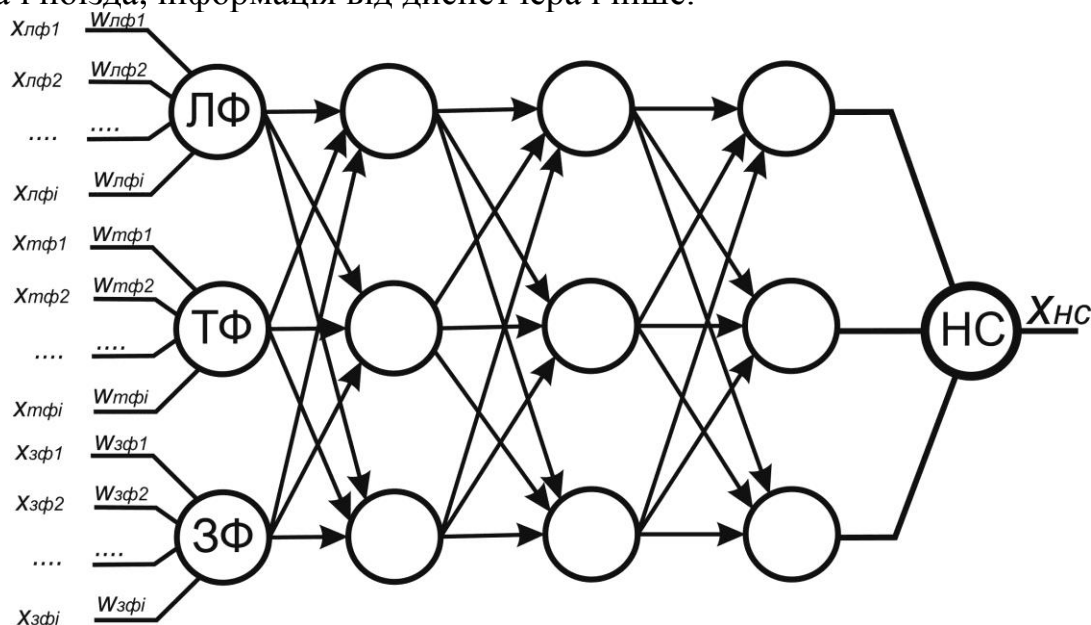


Рисунок 9 – Моделювання виникнення нештатної ситуації за допомогою гібридної мережі

В процесі розробки моделі визначено: тип нечітких нейронів - в якості першого шару нейронів потрібно використовувати гібридні нейрони «АБО»; структуру мережі – багатошаровий перцептрон з сигмоїдальною функцією активації. Проведено навчання мережі методом зворотного поширення помилки. В якості критерію зупинки навчання використана інтенсивність змін середньоквадратичної помилки.

За допомогою розробленої гібридної мережі було розраховано складність нештатних ситуацій ($X_{НС}$) для 73 транспортних подій, що сталися на залізницях України в період з 2006 та отримано розподіл транспортних подій, наведений на рисунку 10.

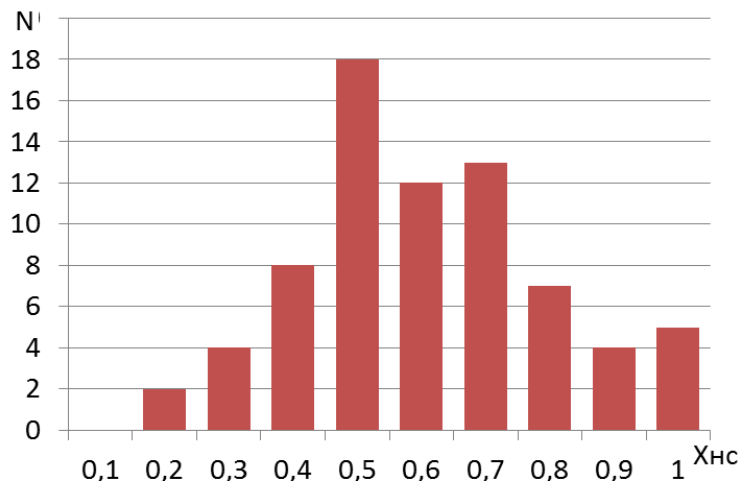
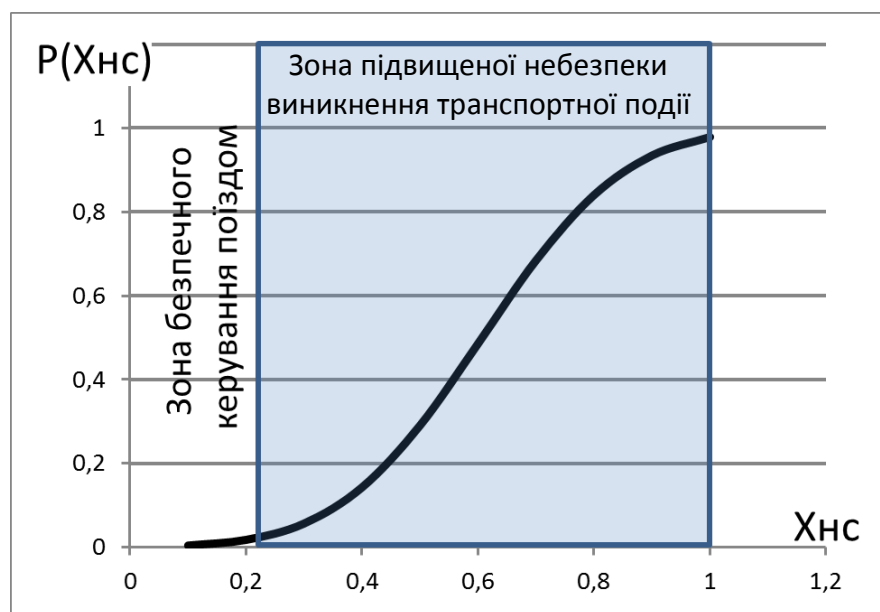


Рисунок 10 – Розподіл транспортних подій по складності нештатної ситуації

Рисунок 11 – Функція розподілення $p(X_{НС})$

Крива $p(X_{НС})$ на рисунку 11 характеризує складність нештатних ситуацій, що призводять до виникнення транспортних подій. Потрібно визначити, при якому максимальному значенні $x_{НСmax}$ НС стає достатньо загрозливою, щоб послужити причиною виникнення транспортної події. Для визначення цього значення пропонується скористатися правилом «двох сігм», тому що правило «трьох сігм» завдає дуже жорсткі критерії до показника $X_{НС}$, коли практично всі ситуації при веденні поїзду з імовірністю 0,9973 будуть вважатися загрозливими для безпеки руху. Отже величина максимально можливого в експлуатації параметру $X_{НС}$ може бути розрахована за формулою

$$x_{НСmax} = \bar{x}_{НС} - 2\sigma_{x_{НС}}, \quad (13)$$

де $\bar{x}_{НС}$ - середнє значення складності нештатної ситуації згідно статистичних даних; $\sigma_{x_{НС}}$ - середньоквадратичне відхилення $X_{НС}$. Згідно до розрахунків при досягненні значення $x_{НСmax} = 0,219$ НС потрібно вважати небезпечною і вживати заходів з усунення причин, що підвищують її складність.

Формалізація та оцінка факторів впливу на розвиток НС дає можливість реалізувати локомотивну СППР з функцією моніторингу та прогнозування транспортних подій, що підвищить рівень безпеки керування поїздом.

У четвертому розділі розроблено методологію використання інтелектуальних СППР для ЛБ.

Виконана оцінка інформаційного навантаження на систему в процесі керування поїздом. Для цього доопрацьована теорія визначення інформаційного навантаження ЛБ. Щільність вхідного потоку інформації становить

$$\lambda = \sum_{e=1}^k \lambda_e, \quad (14)$$

де k – кількість груп сигналів;

$$\lambda_e = \frac{N_e}{T} - \text{щільність потоку інформації від окремої групи сигналів,}$$

де N_e – кількість сигналів e -ї групи, що надійшла до ЛБ; T – загальний час знаходження ЛБ в русі, хв.

Кількість інформації, що надходить до машиніста, можливо оцінити за допомогою методів теорії інформації у двоїчних одиницях за секунду $I(x_i) = -\log_2 p(x_i)$, де $p(x_i)$ – імовірність i -ої події.

Аналіз якості подій (сигналів), що потрапляють до локомотивної бригади показує абсолютну більшість елементарних подій у порівнянні з іншими: 2-ий розряд – 17800 спостережень; 3-ій розряд – 1990 спостережень; 4-ий розряд – 630 спостережень; 5-ий розряд – 200 спостережень; 6-ий розряд – 220 спостережень; 7-ий розряд – 80 спостережень. Крім того, на інформаційну завантаженість впливає результат отримання сигналу машиністом. В залежності від тієї чи іншої події машиніст повинний прийняти рішення про корегування управляючих дій, або про відсутність необхідності такого корегування. Тоді кількість інформації $I(x_i)$ від події x_i буде являти собою складну функцію, що залежить також від кількості інформації, що отримує машиніст додатково перед остаточним прийняттям рішення.

Модель дій машиніста при виникненні події, що потребує прийняття керуючих рішень, наведена на рисунку 12.



Рисунок 12 – Інформаційна модель прийняття керуючих рішень машиністом локомотива

Однією з типових ситуацій для ЛБ є отримання заборонного сигналу світлофора. Ця подія потребує від машиніста прийняття керуючих рішень, що

забезпечать зупинку поїзду перед світлофором. Згідно з рисунком 12 подією x_i буде «червоний сигнал світлофора». Подіями x_{ij} будуть отримання наступних сигналів: x_{i1} – поточна швидкість поїзду; x_{i2} – стан гальмівної магістралі поїзду; x_{i3} – відстань до світлофора; x_{i4} – стан рейок; x_{i5} – характеристики складу поїзду (ступінь завантаженості). З огляду на всі x_{ij} машиніст приймає керуюче рішення – зниження тиску гальмівної магістралі на певну величину. Наведений процес прийняття рішення безумовно додає інформаційного навантаження на ЛБ і його потрібно враховувати. Це можна записати так

$$I(x_i) = -\log_2 p(x_i) - \sum_{j=1}^n \log_2 p(x_{ij}), \quad (15)$$

де $p(x_i)$ – імовірність основної події;

n – кількість сигналів, що потрібно отримати машиністу додатково для прийняття рішення про корегування керуючих дій при виникненні події x_i ;

$p(x_{ij})$ – імовірність додаткової j -ої події, що розглядається машиністом при появі події x_i .

В свою чергу події x_{ij} також можуть бути складними і включати в себе низку сигналів, що їх характеризують, і тоді ЛБ потрібно враховувати цю додаткову інформацію.

Таким чином швидкість потрапляння інформації до ЛБ від однієї групи сигналів можна визначити так

$$V_{inf.e} = \left(-\log_2 p(x_i) - \sum_{j=1}^n \log_2 p(x_{ij}) \right) \cdot \frac{\lambda_e}{60}. \quad (16)$$

А в загалі до ЛБ інформація надходить зі швидкістю

$$V_{inf} = -\sum_{e=1}^k \left(\log_2 p(x_i) + \sum_{j=1}^n \log_2 p(x_{ij}) \right) \cdot \frac{\lambda_e}{60}, \quad (17)$$

де $p(x_i)$ – імовірність основної i -ої події;

n – кількість сигналів, що потрібно отримати машиністу додатково для прийняття рішення про корегування керуючих дій при виникненні події x_i ;

$p(x_{ij})$ – імовірність додаткової j -ої події, що розглядається машиністом при появі події x_i .

λ_e – щільність вхідного потоку окремої групи сигналів, 1/хв.;

k – кількість груп сигналів.

Вираз (17) дозволяє оцінити параметри системи, що проектується, з точки зору швидкості обробки та сприйняття інформації, а також визначити шляхи зниження інформаційного навантаження на ЛБ. Основними заходами цього повинна бути комплексна автоматизація керування локомотивом: перенесення функцій контролю технічного стану локомотива під час поїздки на автоматизовану систему, що повинна сигналізувати тільки у випадках коли параметри відхиляються від норми і система не в змозі відкоригувати їх самостійно; розробка інтелектуальної

системи, що видає поради машиністу про найбільш ефективне положення органів керування локомотивом в даній поїзній обстановці, що частково дозволить відвести від машиніста інформаційні потоки; удосконалення вимог до регламенту перемовин ЛБ шляхом зменшення кількості інформації, яка повинна бути продубльована вголос.

Для оцінки дій ЛБ в НС пропонується $k_{лф}$ – коефіцієнт, що враховує людський фактор ($0 < k_{лф} < 1$). Призначення його полягає в тому, щоб дати комплексну оцінку спроможності ЛБ уникнути або мінімізувати наслідки транспортної події. Визначимо зовнішні негативні фактори та їх вплив на психофізіологічний стан ЛБ. Використовуючи методи, розроблені під керівництвом В. М. Самсонкіна, пропонується коефіцієнт $\mu_{РО} \in (0; 1)$ як узагальнений показник психофізіологічного стану робітника (ПСР) за даними обстеження. Його пропонується визначати як середньоарифметичне оцінювання психофізіологічних показників.

Під час досліджень встановлено, що на якість роботи ЛБ впливає також рівень їх навчання. Визначено коефіцієнт кореляційного відношення Пірсона між множиною значень середнього бала при здаванні кваліфікаційних іспитів ЛБ по роках та множиною кількості транспортних подій по роках. $r = -0,799$, тобто можна сказати, що існує певний зв'язок між підвищенням якості підготовки ЛБ та покращенням стану безпеки руху (обчислення проводились в межах Донецької залізниці).

Залежність для визначення $k_{лф}$

$$k_{лф} = 1 - \frac{Сб}{5} e^{-\frac{x_{ЗВ}}{\mu_{РО}}}, \quad (18)$$

де $Сб$ – середній бал працівника за результатами навчання в дортехшколі або технічних навчань в депо;

5 – максимальний бал за п'ятибальною шкалою оцінювання знань;

$x_{ЗВ}$ - коефіцієнт зовнішніх впливів на ЛБ;

$\mu_{РО}$ - узагальнений показник психофізіологічного стану робітника за даними обстеження.

Тут величини $Сб$ та $\mu_{РО}$ можна вважати постійними (але індивідуальними для кожного робітника) в межах невеликого періоду часу (до місяця). Величина $x_{ЗВ}$ навпаки може значно коливатися впродовж поїздки, так як на неї впливають багато чинників, що змінюються або поступово в часі, або миттєво (якість відпочинку перед поїздкою, час в поїзді, час доби, погодні умови та ін.) Оцінку величини $x_{ЗВ}$ виконати за допомогою метода експертних оцінок.

Вираз (18) дає можливість отримати важливі залежності, що характеризують вплив людського чинника на розвиток транспортних подій (наприклад $k_{лф} = f(\mu_{РО}, x_{ЗВ})$ має вигляд, наведений на рисунку 13).

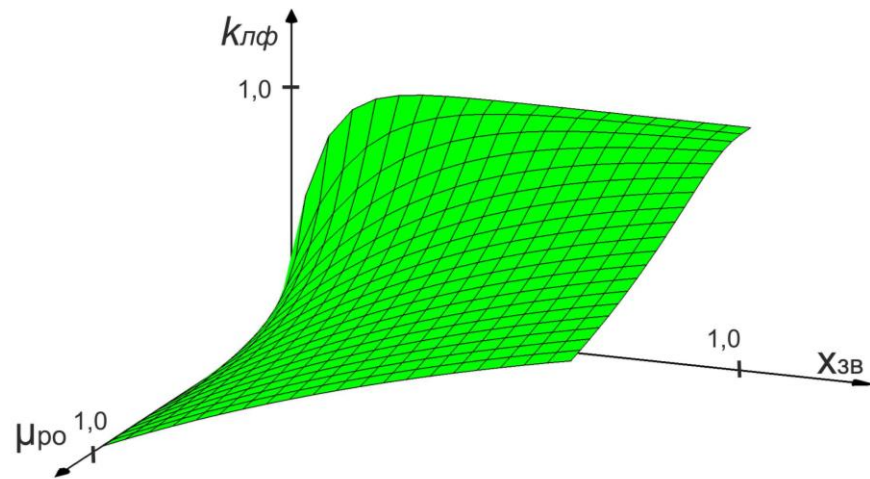


Рисунок 13 – Залежність $k_{лф}(\mu_{PO}, x_{ЗВ})$ при $C_6=5$

Проектування СППР виконаємо для частково спостерігаємих стохастичних варіантів середовища. Це обумовлено неможливістю однозначно визначити всі параметри, що впливають на прийняття рішення при керуванні локомотивом.

Для подання моделі переходу і моделі сприйняття СППР використана динамічна байєсовська мережа, основна перевага використання якої полягає в тому, що вона дозволяє застосовувати декомпозицію опису стану на множину випадкових змінних. Тому проект СППР являє собою практичну реалізацію системи, що діє з урахуванням корисності.

Опишемо зміну стану навколишнього середовища під час керування локомотивом як ряд знімків, кожен з яких визначає ситуацію в даний конкретний момент часу. Кожний знімок, або часовий зріз, містить множину випадкових змінних, причому одна частина з них є такою, що спостерігається, а інша - ні. Використаємо \mathbf{X}_t для позначення множини змінних, що не спостерігаються під час t , та \mathbf{E}_t для позначення множини змінних, що спостерігаються.

Розробка теоретичних основ роботи СППР проводилась на прикладі процесу керування гальмами, а отримані результати правомірні для всіх процесів керування, що відбуваються при веденні поїзду.

Системі перед гальмуванням потрібно визначити стан поверхні головки рейок. Однак безпосередньо це не можливо зробити з локомотива, що рухається. Побічно інформація про поверхню рейки (а отже і про поточний коефіцієнт зчеплення) може бути отримана шляхом вимірювання таких параметрів, як вологість та температура повітря. Таким чином кожний проміжок часу t множина \mathbf{E}_t включає дві змінні V_t та T_t , що показують величини вологості та температури зовнішнього повітря. Множина \mathbf{X}_t містить єдину змінну C_t , що характеризує стан рейок. Таким чином параметри спрощеної задачі визначення стану рейок можуть бути представлені змінними стану C_1, C_2, C_3, \dots та змінними свідочств $V_1, T_1, V_2, T_2, V_3, T_3, \dots$

Змінні свідочства під час t залежать тільки від поточної поїзної обстановки

$$P(\mathbf{E}_t | \mathbf{X}_{0:t}, \mathbf{E}_{0:t-1}) = P(\mathbf{E}_t | \mathbf{X}_t). \quad (19)$$

Умовне розподілення $P(\mathbf{E}_t|\mathbf{X}_t)$ є моделлю сприйняття, оскільки воно показує, як фактичний стан поїзду, сигналів, колії, органів керування та ін. впливає на результати сприйняття, тобто на змінні свідощтва.

Розробимо мережу для прикладу про стан рейок, що наведений вище.

Припустимо, що змінна C_i , яка характеризує стан рейок, приймає два значення: рейки чисті ($C_i = \text{True}$), на рейках роса або іній ($C_i = \text{False}$). Змінні B_i та T_i також приймають два значення: вологість та температура високі ($B_i = \text{True}$, $T_i = \text{True}$), : вологість та температура низькі ($B_i = \text{False}$, $T_i = \text{False}$). На рисунку 14 наведено структуру мережі.

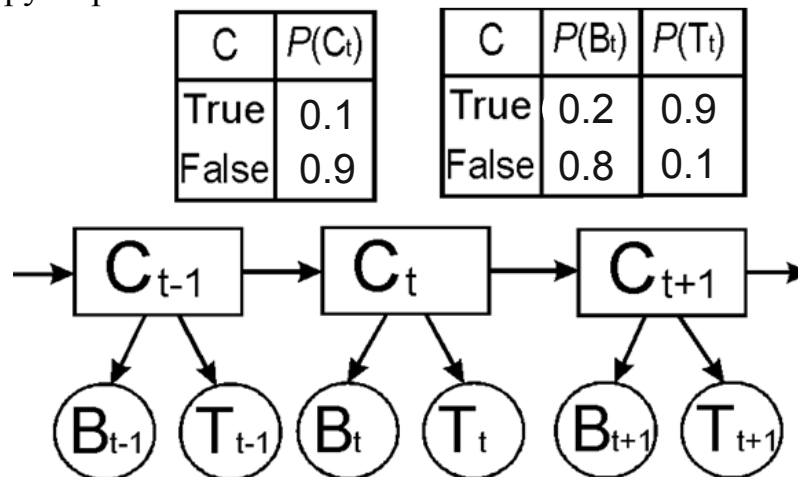


Рисунок 14 – Структура байєсовської мережі та розподілення умовних імовірностей для задачі визначення стану рейок

Модель сприйняття для наведеної структури визначимо у такому вигляді: при $C_t = \text{True}$

$$\begin{cases} P(B_t|C_t) = 0.2 \\ P(T_t|C_t) = 0.9 \end{cases} \quad (20)$$

при $C_t = \text{False}$

$$\begin{cases} P(B_t|C_t) = 0.8 \\ P(T_t|C_t) = 0.1 \end{cases} \quad (21)$$

У випадку, коли точності запропонованої моделі не вистачає, є можливість її корегування шляхом підвищення порядку моделі та розширення множини змінних стану (наприклад введенням змінної атмосферного тиску або пори року).

Розроблений вище підхід до визначення стану рейок може бути використаний для визначення і інших параметрів руху поїзда, які неможливо отримати прямим вимірюванням.

Головним критерієм роботи СППР є корисність рішень, що приймаються. Корисність рішення інтелектуальної системи визначимо у 3D-просторі з координатами $(X_{\text{НС}}; G; \Delta t)$, де $X_{\text{НС}}$ – складність НС, G – витрати енергії (палива) на рух поїзда, Δt – відхилення від графіку руху. Корисність дії в такому випадку буде визначатися нормою вектора, відкладеного від початку координат до точки $(X_{\text{НС}i}; G_i;$

Δt_i), яка визначається прогнозними значеннями вказаних величин в результаті i -того рішення, що вироблено системою.

Необхідно визначити час $T_{пр}$, на який складається прогноз корисності рішень СППР. Виходячи з умов безпеки, максимальний прогнозний час для визначення основних критеріїв корисності не повинен перевищувати часу до повної зупинки поїзда з поточної швидкості. Для цього використовуємо формулу середнього уповільнення

$$\left(\frac{dv}{dt}\right)_{cp} \approx \zeta(b_z(v_{cp}) + w_o(v_{cp}) + i(s_n)), \quad (22)$$

де ζ – коефіцієнт пропорційності, що має розмірність прискорення, в км/год², яке викликається дією одиничної питомої прискорюючої сили 1 Н/кН; для загальних розрахунків рекомендоване значення $\zeta = 120$ (км/год²)/(Н/кН);

$v_{cp} = (v_k + v_n)/2$ – середня швидкість протягом процесу гальмування, км/год, v_n – поточна швидкість, з якої здійснюється гальмування, v_k – кінцева швидкість гальмування;

$b_z(v_{cp})$ – питома гальмова сила, Н/кН;

$w_o(v_{cp})$ – питома сила основного опору руху, Н/кН;

$i(s_n)$ – ухил профілю, ‰, в залежності від координати поїзду;

s_n – координата початку гальмування, км.

Маючи для випадку повної зупинки $v_k = 0$, з формули (22) шляхом перетворень отримаємо вираз для максимального терміну, на який робить прогноз інтелектуальна система $T_{пр \max}$, який не повинний перевищувати часу екстреного гальмування, в с

$$T_{пр \max} \leq t_z = \frac{3600v_n}{\zeta(b_z(v_n/2) + w_o(v_n/2) + i(s_n))}. \quad (23)$$

Експериментальні визначення терміну $T_{пр \max}$ показали, що його величина в залежності від умов ведення поїзду може знаходитись в інтервалі від 0 до 3,5 хвилин. І при підвищенні $T_{пр \max}$, знижується ефективність використання інтелектуальної системи, більше часу вона простоє в очікуванні наступної команди на проведення розрахунку. З іншого боку змінення керуючих впливів на поїзд занадто часто теж не доцільне, тому що збільшується вплив перехідних процесів, що знижують ефективність використання рухомого складу. Тому розрахунковий прогнозний термін визначається за допомогою виразу

$$T_{пр} = T_{пр \max} / n, \text{ при } 1 \leq n \leq T_{пр \max} / t_{пк \min}, \quad (24)$$

де n – коефіцієнт, що визначає у скільки разів максимальний термін прогнозування потрібно зменшити в залежності від поїзної обстановки;

$t_{пк \min}$ – мінімальний час, що потрібний для зміни режиму керування локомотивом (залежить від швидкості протікання перехідних процесів).

Для підвищення ефективності роботи СППР потрібно враховувати не тільки профіль тієї ділянки, на якій знаходиться поїзд в даний момент, але і ділянку, що лежить за нею, для більш повного використання кінетичної енергії.

Вираз (25) отриманий в результаті перетворень рівняння кінетичної енергії поїзду дозволяє визначити силу тяги локомотива в залежності від того, яка потрібна швидкість наприкінці ділянки, що попереду

$$f_{\text{к ср}} = \frac{4.17(v_{\text{к}}^2 - v_{\text{н}}^2)}{s} + w_{\text{к ср}}, \quad (25)$$

де $f_{\text{к ср}}$ – середня дотична сила тяги локомотива, кН;

$v_{\text{к}}, v_{\text{н}}$ – кінцева та початкова швидкості;

s – довжина ділянки, на якій знаходиться поїзд;

$w_{\text{к ср}}$ – середній опір руху поїзда.

При керуванні локомотивом необхідно обирати таку позицію контролеру машиніста, щоб середня дотична сила тяги локомотива знаходилась у межах розрахованої за (25). При розгляді цього виразу всі вихідні дані мають визначене значення, окрім кінцевої швидкості. В залежності від умов ведення поїзду $v_{\text{к}}$ може змінюватись для забезпечення раціональності використання енергії. Врахувати це змінення пропонується шляхом введення нечіткості, а саме представити $v_{\text{к}}$ у вигляді числа (L-R)-типу. Унімодальне нечітке число завдається трійкою $A=(a, \alpha, \beta)$, де a – мода, $\alpha > 0, \beta > 0$ – лівий та правий коефіцієнти нечіткості.

Тоді $v_{\text{к}}=(v_{\text{к}}', \alpha, \beta)$, де $v_{\text{к}}'$ – значення швидкості, що відповідає чіткому виконанню графіку руху.

Унімодальне нечітке число v , яким є швидкість руху, з модою $v_{\text{к}}'$ (тобто $\mu_v(v_{\text{к}}') = 1$) завдається наступним чином

$$\mu_v(v) = \begin{cases} L\left(\frac{v_{\text{к}}' - v}{\alpha}\right) & \text{при } v \leq v_{\text{к}}' \\ R\left(\frac{v_{\text{к}}' - v}{\beta}\right) & \text{при } v > v_{\text{к}}' \end{cases} \quad (26)$$

Тоді вираз (25) буде мати наступний вигляд

$$f_{\text{к ср}} = \frac{4.17((v_{\text{к}}', \alpha, \beta)^2 - v_{\text{н}}^2)}{s} + w_{\text{к ср}}. \quad (27)$$

В результаті перетворень отримаємо вираз для визначення тягового зусилля локомотива у вигляді нечіткого числа (L-R)-типу

$$(f_{\text{к ср}}, \alpha', \beta') = \frac{4.17((v_{\text{к}}'^2 - v_{\text{н}}'^2), \alpha^2, \beta^2)}{s} + w_{\text{к ср}}. \quad (28)$$

Вираз (28) вказує на те, що при визначенні середньої сили тяги на розрахунковій ділянці її нечіткість в квадраті залежить від нечіткості завдання кінцевої швидкості.

При розрахунку показника корисності P необхідно приведення всіх складових, а саме $X_{\text{нс}}, G$, та Δt , до єдиної системи вимірювання. Пропонується корисність дії інтелектуальної локомотивної СППР зв'язати з вартістю експлуатації рухомого складу на прогнозний період і прагнути до зменшення цієї вартості.

Визначення вартості витраченого пального (електроенергії) на прогнозний період та витрати від невиконання графіку руху для вантажних поїздів проводиться за відомими виразами в залежності від $T_{\text{пр}}$. Визначення складності НС через грошовий вимір можливе з використанням теорії ризиків. Оцінка ризику

складається в його кількісному вимірі, тобто визначенні можливих наслідків реалізацій небезпек. Для оцінювання ризику необхідні кількісні показники. В нашому розумінні ризик це імовірність $Q(T_{\text{пр}})$ настання події за інтервал часу $T_{\text{пр}}$, на який робиться прогноз. Ця величина чисельно дорівнює складності НС $X_{\text{НС}}(T_{\text{пр}})$, що прогнозується на період $T_{\text{пр}}$ при реалізації визначеного керуючого рішення.

Також ризик характеризується розміром збитку w від події у вартісному вираженні. Загальним показником ризику є математичне очікування збитку від події. Вводячи до розрахунку величину $X_{\text{НС}}$, отримуємо такий вираз

$$\bar{W} = X_{\text{НС}}(T_{\text{пр}}) \cdot w, \quad (29)$$

де w – оціночний збиток при виникненні транспортної події.

Приймаючи до уваги вищенаведені способи корегування розрахунку та вираження корисності через грошовий еквівалент, математична модель визначення корисності рішення, що приймається, має наступний вигляд:

$$P = \sqrt{\bar{W}^2 + B_{\text{П}}^2 + B_{\text{ГР}}^2} \Rightarrow \min \quad (30)$$

Параметри моделі:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{пр max}} / n,$$

$$X_{\text{НС}} = f(x_{\text{лф}}(T_{\text{пр}}); (x_{\text{тф}}(T_{\text{пр}}); (x_{\text{зф}}(T_{\text{пр}})),$$

$$G_{\text{П}} = g_i \cdot T_{\text{пр}}, \text{ при } F_{\text{к пот}} \in (f_{\text{к ср}}, \alpha', \beta') = \frac{4.17((v_{\text{к}}'^2 - v_{\text{н}}'^2), \alpha^2, \beta^2)}{s} + w_{\text{к ср}},$$

$$\Delta t = s/V_{\text{гр}} - s/V_{\text{ф}},$$

$$\bar{W} = X_{\text{НС}}(T_{\text{пр}}) \cdot w,$$

$$B_{\text{П}} = G_{\text{П}} \cdot b_{\text{П}},$$

$$B_{\text{ГР}} = B_{\text{ЛГ}} + B_{\text{ПГ}} + B_{\text{БР}} + B_{\text{и}}$$

Обмеження на використання моделі:

$$\begin{cases} T_{\text{пр max}} \leq \frac{3600v_n}{\zeta(b_z(v_n/2) + w_o(v_n/2) + i(s_n))} \\ 1 \leq n \leq T_{\text{пр max}} / t_{\text{пк min}} \\ 0 \leq X_{\text{НС}} \leq 0,219 \end{cases},$$

де $T_{\text{пр}}$ – прогнозний термін, с;

$t_{\text{пк min}}$ – мінімальний час між переведеннями рукоятки контролера з позиції на позицію, с;

n – коефіцієнт, що вказує на скільки інтервалів доцільно розбити прогнозний термін для подальшого розрахунку;

$X_{\text{НС}}$ – складність можливої нештатної ситуації;

\bar{W} – математичне очікування збитку від транспортної події, грн.;

w – оціночний збиток при виникненні транспортної події, грн.;

$G_{\text{П}}$ – витрати палива на тягу, кг;

$B_{\text{П}}$ – витрати на паливо впродовж прогнозного терміну при ціні на паливо $b_{\text{П}}$, грн. ;

$B_{ГР}$ – витрати від невиконання графіку руху, грн. ($B_{ЛГ}$, $B_{ПГ}$, $B_{БР}$, $B_{ш}$ – відповідно втрати від локомотиво-годин, поїздо-годин, оплати поїзній бригаді, штрафи за несвоєчасну доставку вантажу, грн.);

$F_{к пот}$ – поточне значення дотичної сили тяги локомотива, кН;

$(f_{к ср}, \alpha', \beta')$ – середнє значення дотичної сили тяги, яка потрібна для руху поїзду на даній ділянці, кН;

$V_{гр}$ – графікова швидкість руху поїзду, м/с;

$V_{ф}$ – фактична швидкість руху поїзду, м/с;

s – довжина ділянки, на якій знаходиться поїзд, м;

Δt – відхилення від графіку руху, с;

P – параметр корисності дії СППР, грн.

Величина P базова для визначення подальших дій інтелектуальної системи. Під час руху поїзду система розглядає множину керуючих дій U , що можливо реалізувати в поточній ситуації. Вибір керуючої дії реалізується шляхом обрання дії u_i , для якої значення параметру корисності P буде мінімальним

$$u = \min [P(u_1); P(u_2); \dots P(u_i)], \quad (31)$$

де u – найбільш прийнятна керуюча дія в поточній ситуації;

$u_1, u_2, \dots u_i$ – складові множини керуючих дій U

i – кількість членів множини U , тобто кількість усіх можливих варіантів керуючих дій.

Ціллю оптимізації процесу керування поїздом є визначення такого режиму керування тяговим та гальмівним зусиллями і відповідної траєкторії руху поїзда, що забезпечують мінімальну вартість перевізного процесу (мінімальне значення критерію P). Представимо рівняння руху поїзду з незалежною координатою «шлях» s , а також визначимо граничні умови як

$$v(s_n) = v_n; v(s_k) = v_k,$$

де s_n, v_n – початкове значення шляху та швидкість в цей момент,

s_k, v_k – кінцеве значення шляху та швидкість в цей момент.

Тоді функціонал, що мінімізується, з урахуванням (30) має вигляд

$$P = \int_{s_n}^{s_k} \sqrt{\bar{W}^2 + B_{П}^2 + B_{ГР}^2} ds \quad (32)$$

Вищенаведені моделі дозволяють розробити локомотивну СППР з контролем та прогнозуванням якості вироблених рішень. При цьому враховуються не тільки параметри ефективності використання рухомого складу, але і реалізується інтелектуальний контроль і прогноз поточного рівня безпеки руху.

У п'ятому розділі розроблено організаційно-технічні заходи щодо застосування інтелектуальних локомотивних СППР. Якщо розглядати світові тренди застосування інтелектуальних технологій, то можна зробити висновок про те, що найбільший ефект виникає при поєднанні використання сучасного обладнання з інтелектуальними системами управління (ІСУ). Стосовно залізничного транспорту це означає, що впровадження ІСУ потрібно передбачати на етапах проектування та

реконструкції основних об'єктів інфраструктури або транспортних засобів. Обладнати застарілі локомотиви, диспетчерські центри, станції, тягові підстанції та ін. системами інтелектуального управління в довгостроковій перспективі виявляється не доцільним. Великі і коштовні об'єкти транспорту розраховані на термін експлуатації більше 25 - 40 років і, закладаючи в них зараз елементи ІСУ, буде створене підґрунтя для технічного прогресу в майбутньому.

Відмінностями в роботі СППР для ЛБ є:

- обмеженість часу на прийняття рішень;
- надширокий спектр поточних ситуацій, в яких опиняється ЛБ як суб'єкт керування;
- велика кількість об'єктів керування (локомотивів), на яких потрібно оновлювати актуальні бази знань;
- дуже висока ціна невірного рішення;
- адаптивність під різні умови поїзної роботи та зміни в нормативній документації.

Інтелектуальна інформаційна система для ЛБ заснована на концепції використання бази знань для генерації алгоритмів вирішення задач ефективного керування локомотивом, розпізнавання та сигналізації про небезпечну ситуацію, збирання статистичних даних.

На підставі вимог, що висувуються до програмного забезпечення ІСУ автором розроблені програмні комплекси, які можуть бути використані при впровадженні інтелектуальних СППР для ЛБ і відповідають умовам, що до них ставляться.

Запропоновано схему інтеграції інтелектуальних систем в процеси забезпечення безпеки руху поїздів в локомотивному господарстві. Інтелектуальна система буде виконувати функції порад для обслуговування суб'єктів управління. Також на неї полягає завдання збирання та передачі інформації про стан безпеки руху, а саме правильність дій ЛБ при керуванні поїздом, вплив зовнішніх факторів під час руху, статистичні дані систем діагностики локомотива про його технічний стан та стан систем і органів безпеки руху на локомотиві.

Питання про доцільність створення та використання інтелектуальних систем вирішується на основі розрахунку економічного ефекту, що визначається на річний обсяг виробництва нової техніки або річний обсяг роботи, виконуваної за допомогою нової техніки в розрахунковому році. В результаті розрахунків встановлено, що орієнтовна вартість впровадження інтелектуальної СППР на один локомотив складає 64 тис. грн. Річний ефект тільки за рахунок удосконалення режимів ведення поїздів на 1 локомотив складає 40,05 тис. грн. Термін окупності буде складати 1 рік 7 місяців.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено актуальну науково-прикладну проблему розвитку наукових основ функціонування ергатичної системи «локомотивна бригада-поїзд» шляхом розробки інтелектуальної локомотивної СППР, що дозволило визначити нові підходи до керування поїздом з метою підвищення рівня безпеки руху при експлуатації тягового рухомого складу.

На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Аналіз умов та ефективності прийняття рішень локомотивними бригадами та заходів підвищення ефективності ергатичної системи «локомотивна бригада-поїзд» показує, що вони мають низку недоліків і не гарантують уникнення аварій. Крім того деякі системи створюють додаткове психологічне навантаження на ЛБ і в окремих випадках призводять до відволікання від основних контролюючих та керуючих дій. Тому в подальшому потрібно при розробці локомотивних систем безпеки більше уваги приділяти їх впливу на інформаційну завантаженість ЛБ під час руху. Використання локомотивних СППР дозволить уникнути недоліків традиційних систем керування локомотивом.

2. Розроблено модель прийняття керуючих рішень машиністом за допомогою теорії нечітких імовірнісних графів, що дозволило оцінити швидкість прийняття рішень машиністом. Аналіз L-матриці укрупненого графу показує, що мінімальний час на прийняття керуючого рішення машиністом знаходиться в інтервалі $[5,66 \div 13,75]$ с, а на ідентифікацію НС витрачається $[4,9 \div 9,38]$ с. Зменшення часу прийняття керуючого рішення дасть ефект у вигляді підвищення ефективності використання рухомого складу шляхом зменшення відхилення поточного режиму керування від раціонального. Зменшення часу на ідентифікацію нештатних ситуацій підвищить рівень безпеки руху.

3. Основною величиною, що характеризує стан БР є кількість транспортних подій на 1 млн. км пробігу. Запропоновано в якості критерію оцінки стану БР представити значення цього показника у вигляді суми середнього значення і квадратичного відхилення. Середньостатистичне значення показника браків в роботі по Укрзалізниці складає $\bar{x}=0,91$ млн.км⁻¹. Розрахункова дисперсія показника браків в роботі $D=0,4$ млн.км⁻¹. За максимально допустиму величину показника пропонується прийняти $x_{\text{макс}}=2,17$ млн.км⁻¹. Запропоновано класифікувати фактори, що впливають на імовірність виникнення нештатних ситуацій, по їх природі на людський фактор, технічний фактор та зовнішні впливи. Імовірність транспортної події пропонується розглядати з точки зору імовірності виникнення різних конфігурацій цих трьох компонентів. Доцільним при розрахунках є розподіл факторів на рівні. Головною перевагою такого підходу до розрахунку імовірності виникнення нештатної ситуації є точність її визначення через імовірності виникнення факторів різних рівнів.

4. Створено метод оцінки дій ЛБ в НС. В якості критерію оцінки дій людини при виникненні нештатних ситуацій запропоновано коефіцієнт $k_{\text{лф}}$. Цей параметр характеризує здатність ЛБ запобігти розвитку транспортної події і впливає на її імовірність. За допомогою $k_{\text{лф}}$ визначено вплив на розвиток аварій таких чинників, як якість підготовки ЛБ, психофізіологічні властивості, зовнішні фактори, що діють на ЛБ під час поїздки. Встановлено, що найбільший вплив на цей критерій мають зовнішні негативні впливи під час поїздки, які здатні змінювати $k_{\text{лф}}$ від 0,15 до 0,93 при постійних інших чинниках.

5. Формалізація завдання моделювання виникнення НС для ЛБ під час керування поїздом пропонується на основі гібридної мережі. Розроблено метод визначення складності НС. Для цього визначено тип нечітких нейронів, структуру мережі, визначено навчаючу вибірку, проведено навчання мережі методом

зворотного поширення помилки, обрана функція активації та критерій зупинки навчання. Основною характеристикою НС пропонується вважати її складність. Оцінка складності визначається імовірністю виникнення транспортної події в результаті розвитку даної нештатної ситуації не враховуючи реакцію ЛБ на неї. За допомогою цієї моделі отримано розподілення та середнє значення складності НС при виникненні транспортної події $\bar{x}_{НС} = 0,6$. Згідно до розрахунків при досягненні значення $x_{НС\max} = 0,219$ НС потрібно вважати небезпечною і вживати заходів з усунення причин, що підвищують її складність. Це дало можливість при розробці інтелектуальних СППР враховувати і прогнозувати вплив керуючих дій машиніста на виникнення небезпеки.

6. Створено метод прогнозування корисності дій СППР, яка визначена у тривимірній системі координат в залежності від складності НС, витрати енергії на рух поїзду, відхилення від графіку руху. Корисність дії в такому випадку буде визначатися нормою вектора, відкладеного від початку координат до точки, що відповідає прогнозним значенням вказаних величин в результаті того або іншого рішення, що вироблено СППР. Корисність дії приведена до фізичної величини «вартість експлуатації на прогнозний термін». Такий підхід дозволив спрогнозувати наслідки кожної керуючої дії, яка можлива в даній поїзній обстановці, та обрати за цим формалізованим критерієм потрібний керуючий вплив на локомотив з боку машиніста.

7. Розроблено математичну модель динамічної бази знань. База знань може працювати в двох режимах: «Накопичення» (відбувається поповнення і уточнення продукцій) та «Використання» (СППР постійно контролює поточну поїзну обстановку та порівнює її з існуючими продукціями). При математичному описанні роботи бази знань використовуються поточні значення умов ведення поїзду та положення органів керування, множина всіх продукцій, що занесені до бази знань, поточні керуючі дії ЛБ. Використання такої бази знань дозволяє швидко накопичувати та розповсюджувати досвід найбільш ефективної та безпечної експлуатації рухомого складу.

8. Набули подальшого розвитку теоретичні основи роботи нечіткого класифікатора, завданням якого є вироблення керуючого сигналу для СППР, яка аналізує дані про стан параметрів, що впливають на рух поїзду, генерує рекомендації щодо керування ТРС. Визначено структуру вектору інформативних ознак (перелік ознак та їх представлення у чіткому або фазифікованому вигляді) для локомотивної системи. Навчання нечіткого класифікатора полягає в знаходженні вектора, що мінімізує відстань між результатами логічного висновку і експериментальними даними з вибірки.

9. Розвинуто концепцію використання інтелектуальних систем в напрямку інтелектуального керування локомотивом. Найбільш доцільною для використання ЛБ є СППР, що використовує імовірнісну задачу індивідуального прийняття рішень з векторним критерієм. Аналізуючи умови роботи ЛБ та режими руху поїздів, можна виділити наступні функції людини, які безпосередньо впливають на ефективність використання тягового рухомого складу та безпеку під час експлуатації: розпізнавання нештатної ситуації; переведення контролера машиніста;

визначення моменту та глибини розрядки гальмівної магістралі; визначення способу усунення несправностей локомотива. Саме ці функції потрібно забезпечити підтримкою інтелектуальною системою. Визначено джерела здобуття знань для СППР, якими є машиніст, система спостереження і контролю, математична модель руху, архів даних.

10. Доопрацьовано теоретичні основи визначення інформаційного навантаження на ЛБ. Розроблено інформаційну модель прийняття керуючого рішення ЛБ при веденні поїзду. Вона дозволяє визначити шляхи зниження інформаційного навантаження на ЛБ. Основними заходами цього повинні бути: перенесення функцій контролю технічного стану локомотива під час поїздки на автоматизовану систему, що буде сигналізувати тільки у випадках коли параметри відхиляються від норми і система не в змозі відкоригувати їх самостійно; розробка інтелектуальної системи, що видає поради машиністу про найбільш ефективне положення органів керування локомотивом в даній поїзній обстановці, що частково дозволить відвести від машиніста інформаційні потоки. Під час руху поїзду період обробки сигналу знаходиться в інтервалі $0,3с < t_{oc} < 11с$. Визначено, що інформаційна завантаженість локомотивної бригади при розрахунках з наведеними припущеннями наближається до гранично можливих значень, які становлять 2-4 дв.од./с. Аналіз якості подій (сигналів), що потрапляють до локомотивної бригади показує абсолютну більшість елементарних подій у порівнянні з іншими: 2-ий розряд – 17800 спостережень; 3-ій розряд – 1990 спостережень; 4-ий розряд – 630 спостережень; 5-ий розряд – 200 спостережень; 6-ий розряд – 220 спостережень; 7-ий розряд – 80 спостережень.

11. Вдосконалено метод побудови схем ситуацій шляхом врахування умов керування поїздом. Для подання знань у розроблювальній системі доцільне застосування логіки предикатів першого порядку, що дозволяє представляти знання про середовище більш компактно. В якості такої бази знань, що найпростіше реалізувати на ЕОМ, прийнята продукційна модель, утворена з формальної логічної моделі.

12. Ефективність впровадження підтверджується економічними розрахунками, згідно яких річний ефект від використання локомотивної СППР тільки за рахунок удосконалення режимів ведення поїздів на 1 локомотив складає 40,05 тис. грн., що забезпечить термін окупності 1 рік 7 міс. Також очікується результат у вигляді підвищення безпеки руху та покращення умов праці ЛБ шляхом зниження інформаційного навантаження.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Горобченко, О. М. Розробка методу оцінки факторів, що впливають на дії локомотивних бригад в нештатних ситуаціях [Текст] / О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2010. – Вип. 24. – С.131 – 143.
2. Горобченко, О. М. Визначення параметрів функції корисності рішень СППР для локомотивних бригад [Текст] / О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – 2014. – Вип. 149. – С. 80 – 87.

3. Горобченко, О. М. Розробка математичної моделі динамічної бази знань для інтелектуального керування локомотивом [Текст] / О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2013. – Вип.33. – С.189 – 192.
4. Горобченко, О. М. Формалізація задачі поточної оцінки безпеки руху при управлінні локомотивом [Текст] / О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Держ. екон.-технолог. ун-ту трансп. – 2014. – Вип. 24. – С. 214 – 221.
5. Горобченко, О. М. Методологічні основи побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для локомотивних бригад. [Текст] / О. М. Горобченко // Международный информационный научно-технический журнал "Локомотив-информ". – 2014. – №8. – С. 12-13.
6. Горобченко, О. М. Корегування функцій машиніста локомотива за допомогою систем підтримки прийняття рішень [Текст] / О. М. Горобченко // Международный информационный научно-технический журнал "Локомотив-информ". – 2011. – №5.– С. 4–5.
7. Горобченко, О. М. Використання теорії марківських процесів при проектуванні моделі переходу і спостереження інтелектуальних агентів керування локомотивом [Текст] / О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. –2011. – Вип.27. – С.95 – 99.
8. Горобченко, А. Н. Определение диагностического веса параметров локомотива, заданных нечеткими числами [Текст] / А. Н. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. –2008. – Вип.13. – С.81 – 86.
9. Паламарчук, М. В. Шляхи покращення процесу підготовки локомотивних бригад за допомогою інформаційних технологій [Текст] / М. В. Паламарчук, О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2009. – Вип.19. – С.104 – 108.
10. Ломотько, Д. В. Визначення форми вихідних даних для моделювання нештатних ситуацій при веденні поїзду [Текст] / Д. В. Ломотько, О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2009. – Вип.20. – С.74 – 80.
11. Ломотько, Д. В. Статистичне визначення показників безпеки руху поїздів в процесі експлуатації [Текст] / Д. В. Ломотько, О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2010. – Вип.21. – С.137 – 141.
12. Горобченко, О. М. Аналітичне описання тягово-енергетичних характеристик тепловозу 2ТЭ116 [Текст] / О. М. Горобченко, Ю. В. Кривошея, С. А. Матвієнко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2010. – Вип.22. – С.132 – 142.
13. Горобченко, О. М. Розрахунок терміну прогнозування при визначенні корисності дії інтелектуального агента керування поїздом [Текст] / О. М. Горобченко, С. А. Матвієнко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2011. – Вип.25. – С.129 – 132.
14. Ломотько, Д. В. Аналітичне вираження ступеню впливу людського фактору на імовірність транспортної події [Текст] / Д. В. Ломотько, О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2011. – Вип.26. – С.115 – 119.
15. Бабанін, О. Б. Визначення цільової функції для оптимізації процесу керування в ергатичній системі «машиніст-СППР-поїзд» на підставі критерію

корисності. [Текст] / О. Б. Бабанін, О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Держ. екон.-технолог. ун-ту трансп. – 2014. – Вип. 25. – С. 92 – 99.

16. Бабанін, О. Б. Синтез енергозберігаючої структури системи підтримки прийняття рішень для локомотивних бригад [Текст] / О. Б. Бабанін, Д. В. Ломотько, О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – 2015. – Вип.153. – С. 226 – 232.

Публікації у наукових виданнях інших держав:

17. Gorobchenko, O. Development of intelligent control system for locomotives [Electronic resource] / Olexandr Gorobchenko // [Transport & Logistics. International Journal, 2014]. – Vol. 14. – Mode of access: World Wide Web: http://ulpad.fberg.tuke.sk/transportlogistics/wp-content/uploads/Gorobchenko_UA1.pdf. – Title from the screen.

18. Горобченко, А. Н. Защитные функции интеллектуальных систем локомотива [Текст] / А. Н. Горобченко // Мир транспорта. – М.:МГУПС, 2015. – №3. – С.192 – 199.

Публікації у виданнях України, що включені до міжнародних наукометричних баз:

19. Горобченко, О. М. Методологія визначення величини параметру складності нештатної ситуації під час ведення поїзду [Текст] / О. М. Горобченко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – № 6 (54). – С.50 – 58.

20. Горобченко, О. М. Розробка методики оцінки інформаційного навантаження на локомотивну бригаду [Текст] / О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2013. – Вип.36. – С. 141 – 147.

21. Горобченко, О. М. Розробка теоретичних основ системи самонавчання інтелектуальних агентів керування локомотивами [Текст] / О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2014. – Вип.37. – С. 99-103

22. Горобченко, О. М. Моделювання виникнення нештатної ситуації в ергатичній системі «локомотивна бригада – поїзд» [Текст] / О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2014. – Вип.38. – С. 144 – 147.

23. Горобченко, О. М. Визначення імовірності виникнення транспортної події в локомотивному господарстві [Текст] / О. М. Горобченко // Транспорт: Зб. наук. праць ДНУЗТ. – Дніпропетровськ: ДІТ, 2010. – Вип. 35. – С.41– 44.

24. Бутько, Т. В. Обґрунтування виду функції приналежності нечітких параметрів локомотивних інтелектуальних систем керування [Текст] / Т. В. Бутько, О. Б. Бабанін, О. М. Горобченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – №1(73). – С.4-7.

25. Бутько, Т. В. Моделювання керуючої діяльності машиніста локомотива за допомогою теорії нечітких графів [Текст] / Т. В. Бутько, О. М. Горобченко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – Д.:ДНУЗТ, 2015. – № 2 (56). – С.88–96.

26. Бабанін, О. Б. Моделювання дій локомотивних бригад в ергатичній системі "машиніст-поїзд" за допомогою логіки предикатів [Текст] / О. Б. Бабанін, О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – 2014. – Вип.39. – С.100 – 106.

Додаткові праці:

27. Тартаковський, Е. Д. Застосування байєсовських мереж при розробці інтелектуального модулю керування гальмами поїзду [Текст] / Е. Д. Тартаковський, О. М. Горобченко // Зб. наук. пр. Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – 2015. – Вип.157. – С. 155 – 159.

28. Пат. на корисну модель 104608 Україна, МПК G05B 13/00 (2006.01). Система підтримки прийняття рішень для локомотивних бригад / О. М. Горобченко, О. В. Фомін, К. О. Рябко, О. Б. Бабанін / - № u201507470; заявл. 27.07.15; опубл. 10.02.2016, Бюл. №3/2016. – 5 с.

29. Пат. на корисну модель 58624 Україна, МПК G09B 7/04 (2006.01). Спосіб навчання машиністів локомотивів / О. М. Горобченко, В. Й. Поддубняк, Д. В. Ломотько / – № u201004965; заявл. 26.04.10; опубл. 26.04.2011, Бюл. №8/2011. – 5 с.

30. Математичне моделювання процесів експлуатації локомотивів та технологічного обладнання депо за допомогою ЕОМ [Текст]: Монографія / Ю. В. Черняк, М. І. Сергієнко, О. М. Горобченко і ін. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – 242 с.

31. Програмний комплекс для розрахунку і проектування процесів інтелектуального керування рухомим складом залізниць / Краснокутська З. І., Горобченко О. М., Ломотько Д. В. Свідоцтво про внесення відомостей до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення ВРН№01602; дата реєстрації 28.11.2012; дата видачі 06.12.2012.

32. Програмний комплекс для розрахунку і проектування роботи силової схеми електровозу ВЛ8 / Краснокутська З. І., Горобченко О. М. Свідоцтво про внесення відомостей до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення ВРН№01604; дата реєстрації 28.11.2012; дата видачі 06.12.2012.

33. Програмний комплекс для моделювання організації роботи локомотивних бригад / Краснокутська З. І., Горобченко О. М. Свідоцтво про внесення відомостей до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення ВРН№01597; дата реєстрації 28.11.2012; дата видачі 06.12.2012.

Праці апробаційного характеру:

34. Горобченко, О. М. Визначення шляхів підвищення ефективності функціонування рухомого складу шляхом створення та дослідження математичної моделі виникнення транспортної події. [Текст] / О. М. Горобченко // Тези доповідей 70 Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту". – Д.:ДНУЗТ, 2010. – С.50 – 51.

35. Горобченко, О. М. Визначення корисності дії інтелектуального агента керування рухом поїзду. [Текст] / О. М. Горобченко // Тези доповідей 71 Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту" , 14-15 квітня 2011 р. – Д.:ДНУЗТ, 2011. – С. 63.

36. Ломотько, Д. В. Интеллектуальные системы управления подвижным составом. [Текст] / Д. В. Ломотько, А. Н. Горобченко // Збірник доповідей 10 науково-практичної конференції "Перспективи впровадження технічних засобів безпеки на залізницях України" – Харків, 2010. – С.40.

37. Горобченко, О. М. Вплив людського фактору на ефективність експлуатації локомотивів та безпеку руху. [Текст] / О. М. Горобченко // Матеріали міжвузівської

науково-технічної конференції "Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування" – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – С. 74 – 78.

38. Горобченко, О. М. Прогнозування відхилення від графіку руху поїзду для розрахунку корисності рішення інтелектуального агента. [Текст] / О. М. Горобченко // Матеріали 4-ої міжвузівської науково-технічної конференції "Енерго- та ресурсозберігаючі технології при експлуатації машин та устаткування". – Донецьк:ДонІЗТ, 2012. – С.55 – 57.

39. Горобченко, О. М. Розробка системи підтримки прийняття рішень для машиністів локомотивів [Текст] / О. М. Горобченко, Ю. В. Кривошея // Матеріали третьої Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті" – Херсон: ХДМІ, 2011. – С. 20.

40. Горобченко, А. Н. Использование интеллектуальных систем для управления тяговым подвижным составом [Текст] / А. Н. Горобченко // II Международная партнерская конференция «Проблемы подвижного состава: пути решения через взаимодействие государственного и частного секторов, Ялта - 2011». Тезисы докладов. – Харьков: Подвижной состав, 2011. – С.69.

41. Горобченко, О. М. Розробка системи самонавчання інтелектуальних агентів керування рухом поїзду [Текст] / О. М. Горобченко // Тези Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті". – Д.:ДНУЗТ, 2012. – С. 63 – 64.

42. Ломотько, Д. В. Разработка системы поддержки принятия решений машинистом локомотива [Текст] / Д. В. Ломотько, А. Н. Горобченко // Материалы 5 Международной научно-практической конференции, посвященной 175-летию со дня начала эксплуатации ж/д транспорта в России "Наука и образование транспорту". – Самара: СамГУПС, 2012. – С.14 – 15.

43. Горобченко, А. Н. Возможности использования интеллектуальных систем для управления локомотивами. [Текст] / А. Н. Горобченко // "Локомотивы. XXI век" Сборник материалов Международной научно-технической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения д.т.н., профессора Е. Я. Гаккель. – Санкт-Петербург:ПГУПС, 2013. – С.47 – 49.

44. Ломотько, Д. В. Розробка динамічної бази знань для інтелектуальних систем керування локомотивом [Текст] / Д. В. Ломотько, А. Н. Горобченко // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. Тези доповідей 75-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Випуск 136 – С.331–332.

45. Бабанін, О. Б. Методологічні основи побудови локомотивних СППР [Текст] / О. Б. Бабанін, О. М. Горобченко // Логістичне управління та безпека руху на транспорті. Збірник тез науково-практичної конференції. – Сєвєродонецьк:СНУ ім В. Даля, 2014. – С.83-86.

АНОТАЦІЯ

Горобченко О. М. Развитие научных основ функционирования эргатической системы «локомотивная бригада-поезд». – Рукопись.

Диссертация на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2016.

В результаті аналізу існуючих систем і засобів підвищення ефективності ергатичної системи «локомотивна бригада-поезд» встановлено, що вони мають ряд обмежень і не гарантують запобігання аварій. Використання локомотивних СППР дозволить уникнути недоліків традиційних систем керування локомотивом.

Розроблено модель прийняття керуючих рішень машиністом за допомогою теорії нечітких імовірнісних графів, що дозволило оцінити швидкість прийняття рішень машиністом.

Запропоновано класифікувати фактори, які впливають на імовірність виникнення нештатних ситуацій (НС), по їхній природі на людський фактор, технічний фактор і зовнішні впливи.

Визначено критерій оцінки дій людини при виникненні позаштатних ситуацій запропонований коефіцієнт, що характеризує здатність локомотивної бригади (ЛБ) запобігти розвитку транспортної події. За допомогою гібридної нейромережі отримане значення складності НС, що виникають у процесі керування поїздом. На підставі статистичних даних отримане гранично припустиме значення цієї величини.

Основним критерієм роботи локомотивної СППР є корисність прийнятих рішень. У роботі корисність визначена в тривимірній системі координат залежно від складності НС, витрати енергії на рух поїзда, відхилення від графіка руху.

Найбільш доцільною для використання ЛБ є СППР, що використовують імовірнісне завдання індивідуального прийняття рішень з векторним критерієм. Розроблено інформаційну модель прийняття керуючого рішення машиністом при веденні поїзда, що дозволяє визначити шляхи зниження інформаційного навантаження. В результаті розрахунків встановлено, що орієнтовна вартість впровадження СППР на один локомотив складає 64 тис. грн, а термін окупності становить 1 рік 7 місяців.

Ключові слова: поїзд, локомотивна бригада, нештатна ситуація, підтримка рішень, інтелектуальна система, ергатична система.

АННОТАЦИЯ

Горобченко А. Н. Развитие научных основ функционирования эргатической системы «локомотивная бригада-поезд». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2016.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы развития научных основ функционирования эргатической системы «локомотивная бригада-поезд» путем разработки интеллектуальных локомотивных систем поддержки принятия решений.

В результате анализа существующих систем и средств повышения эффективности эргатической системы «локомотивная бригада-поезд» установлено, что они имеют ряд недостатков и не гарантируют предотвращения аварий. Кроме того, некоторые системы создают дополнительную психологическую нагрузку на локомотивную бригаду (ЛБ) и в отдельных случаях приводят к отвлечению от основных контролирующих и управляющих действий. Использование локомотивных СППР позволит избежать недостатков традиционных систем управления локомотивом.

Разработана модель принятия управляющих решений машинистом с помощью теории нечетких вероятностных графов, что позволило оценить скорость принятия решений машинистом.

Предложено классифицировать факторы, влияющие на вероятность возникновения нештатных ситуаций (НС), по их природе на человеческий фактор, технический фактор и внешние воздействия. Вероятность транспортного события предлагается рассматривать с точки зрения вероятности возникновения разных конфигураций этих трех компонентов.

В качестве критерия оценки действий человека при возникновении нештатных ситуаций предложен коэффициент, характеризующий способность ЛБ предотвратить развитие транспортного события, с помощью которого определено воздействие на развитие аварий таких факторов, как качество подготовки ЛБ, психофизиологические свойства, внешние факторы, которые действуют на ЛБ во время поездки.

С помощью гибридной нейросети получено значение сложности НС, возникающих в процессе управления поездом. На основании статистических данных получено предельно допустимое значение этой величины. Это дало возможность при разработке интеллектуальных СППР учитывать и прогнозировать воздействие управляющих действий машиниста на возникновение опасности.

Основным критерием работы локомотивной СППР является полезность принимаемых решений. В работе полезность определена в трехмерной системе координат в зависимости от сложности НС, расхода энергии на движение поезда, отклонение от графика движения. Полезность действия в таком случае будет определяться нормой вектора, отложенного от начала координат к точке, которая определяется прогнозным значением указанных величин в результате того или иного решения, выработанного СППР. Полезность действия приведена к величине стоимости эксплуатации на прогнозный период. Соответственно наиболее полезные решения приводят к наименьшим затратам на эксплуатацию.

Предложена математическая модель динамической базы знаний СППР, которая работает в двух режимах: «Накопление» (происходит пополнение и уточнение продукций) и «Использование» (СППР постоянно контролирует текущую поездную обстановку и сравнивает ее с существующими продукциями).

Наиболее целесообразными для использования ЛБ являются СППР, использующие вероятностную задачу индивидуального принятия решений с векторным критерием. Анализируя условия работы ЛБ и режимы движения поездов, можно выделить следующие функции человека, которые оказывают непосредственное влияние на эффективность использования тягового подвижного состава и безопасность во время эксплуатации: распознавание НС; переключение штурвала контроллера машиниста; определение момента и глубины разрядки тормозной магистрали; определение способа устранения неисправностей локомотива. Именно эти функции нужно обеспечить поддержкой интеллектуальной системой. Источником знаний для СППР являются машинист, бортовая система диагностики, математическая модель движения, архив данных.

Разработана информационная модель принятия управляющего решения машинистом при ведении поезда, позволяющая определить пути снижения информационной нагрузки. Основными мероприятиями этого должна быть комплексная автоматизация управления локомотивом: перенесение функций контроля технического состояния локомотива во время поездки на автоматизированную систему, которая должна сигнализировать только в случаях когда параметры отклоняются от нормы и система не в состоянии откорректировать их самостоятельно; разработка интеллектуальной системы, которая подсказывает машинисту о наиболее эффективном положении органов управления локомотивом в данной поездной обстановке.

Предложена схема интеграции интеллектуальных систем в процессы обеспечения безопасности движения в локомотивном хозяйстве. В результате расчетов установлено, что ориентировочная стоимость внедрения СППР на один локомотив составляет 64 тыс. грн, а срок окупаемости составляет 1 год 7 мес.

Ключевые слова: поезд, локомотивная бригада, нештатная ситуация, поддержка решений, интеллектуальная система, эргатическая система.

ABSTRACT

Gorobchenko O. M. The Development of scientific bases of "Locomotive Crew - Train" ergatic system functioning. – Manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences on speciality 05.22.20 – vehicles operation and maintenance. – Ukrainian State University of Railway Transport MES of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The analysis of existing systems and methods for "locomotive crew train" ergatic system efficiency improving has shown that they have several limitations and do not guarantee an accident prevention. The use of the locomotive DSS will allow avoiding the disadvantages of traditional locomotive control systems.

The model for making control decisions by the locomotive driver has been developed using the theory of fuzzy probabilistic graphs that allows us to estimate the driver's decision making speed.

The factors affecting the probability of emergency situations (ES) occurrence are classified according to their nature as a human factor, a technical factor and external

influences. The criterion for the evaluation of human actions in emergency situations has been defined, the coefficient characterizing the locomotive crew (LC) ability to prevent accidents has been proposed. By means of the hybrid neural network the value of the ES complexity, which occurs during the train operation, has been obtained. On the basis of statistical data the limit value of this quantity has been obtained.

The main criterion of the locomotive DSS work is the utility of decisions made. In the work the utility has been defined according to the ES complexity, the energy cost of the train movement, deviations from the timetable in the three-dimensional coordinate system. The most appropriate system for LC is DSS that uses probabilistic task of individual decision making with a vector criterion. The information model for making control decisions by the operator driving the train has been developed, which allows identifying ways to reduce information load. The calculations have shown that the approximate cost of DSS implementing on one locomotive is 64 thousand UAH, and the payback period is 1 year and 7 months.

Keywords: train, locomotive crew, emergency situation, decision support, intelligent system, ergatic system.

ГОРОБЧЕНКО ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 629.4.053

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕРГАТИЧНОЇ
СИСТЕМИ «ЛОКОМОТИВНА БРИГАДА-ПОЇЗД»**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

доц. Дацун Ю. М.

Підписано до друку "19" квітня 2016 р.
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для множних апаратів.
Умовн. – рук. арк. 1,8. Обл.-вид. арк. 1,9
Замовлення № 145. Тираж 150 прим.

Видавництво УкрДУЗТ. Свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДУЗТ: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7