

**Українська державна академія  
залізничного транспорту**

**Пузир Володимир Григорович**

УДК 629.4.083: 629.4.072.5

**Наукові основи удосконалення технології передрейсової підготовки локомотивів та  
локомотивних бригад**

05.22.07- рухомий склад залізниць та тяга поїздів

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Харків – 2005

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі “Експлуатація та ремонт рухомого складу”  
Української державної академії залізничного транспорту Міністерства транспорту та  
зв’язку України

Науковий консультант

Доктор технічних наук, професор

Тартаковський Едуард Давидович, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра “Експлуатація та ремонт рухомого складу”, завідувач кафедри

Офіційні опоненти

Доктор технічних наук, професор

Ткаченко Віктор Петрович, Східноукраїнський національний університет ім. Володимира Даля, проректор

Доктор технічних наук, професор

Бойнік Анатолій Борисович, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра “Автоматика та телеуправління рухом поїздів”, завідувач кафедри

Доктор технічних наук, професор

Маслієв В’ячеслав Георгійович, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, кафедра “Електричний транспорт та тепловозобудування”, професор

Провідна установа – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. В.Лазаряна, кафедра “Локомотиви”, Міністерство транспорту та зв’язку України, м. Дніпропетровськ

Захист відбудеться “30” вересня 2005 р. о 13.30 у конференцзалі на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл.Фейєрбаха, 7.

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

Автореферат розіслано “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2005 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Фалендиш А.П.

## Загальна характеристика роботи

### Вступ

Одним з головних напрямків технічної політики на залізничному транспорті є забезпечення надійності рухомого складу та безпеки руху поїздів. У цьому напрямку окрему наукову проблему складає обґрунтування на сучасному рівні технології передрейсової підготовки локомотивів та локомотивних бригад з використанням формалізації процесів, інформаційних технологій, мікропроцесорної техніки діагностування локомотивів, засобів об'єктивного контролю рівня підготовки та психофізіологічного стану локомотивних бригад.

Останнім часом обсяг перевезень залізницями України поступово збільшується, ріст складає приблизно 4-5% щорічно. Частка залізниць у структурі перевезень вантажів різними видами транспорту за перше півріччя 2005 року досягла 77,1%. Однак, залізниці тепер змушені працювати у конкурентному середовищі, що вимагає формування нового рівня транспортного забезпечення та якісних змін всього комплексу технологічних операцій. Розпочато процес інтеграції залізничної техніки України у транспортну мережу Європи, де вимоги до швидкісних та звичайних залізничних ліній, а також до рухомого складу закладені Директивами ЄС 94/48 і 2001/16. Вітчизняні виробники тягового рухомого складу (ТРС) протягом останніх років опанували виробництво майже всього спектру необхідних його типів. Технічний рівень нового ТРС повинен дозволити (за прогнозами виробників) на 30% зменшити витрати на проведення технічних обслуговувань і ремонтів, на 15-20% витрати електроенергії, збільшити періоди між проведенням технічного обслуговування ТО-2 до 5 діб.

Разом з тим, на найближчу перспективу основними серіями ТРС залишатимуться існуючі локомотиви. Укрзалізниця проводить атестацію локомотивних депо щодо можливості здійснення ремонтної та експлуатаційної діяльності. Впроваджуються засоби діагностики та тренажерні комплекси на базі обчислювальної техніки. Проводяться організаційні заходи по розповсюдженню передового досвіду безаварійної роботи, утримання приладів безпеки. Впроваджується на залізницях система АСУ "ЛОКБРИГ". Однак рівень допущених транспортних подій все ще залишається високим. Аналіз їх причин показує – 50-60 % подій стається з вини неякісного ремонту, 10-15 % обумовлено технічними причинами і 20-25% з вини локомотивних бригад. Таке співвідношення робить цілком актуальними дослідження, спрямовані на вдосконалення технології експлуатації ТРС та підвищення надійності локомотивних бригад.

### *Актуальність теми*

Дисертація присвячена актуальній темі – прогнозуванню експлуатаційної надійності локомотивів та локомотивних бригад у процесі передрейсової підготовки.

Передрейсова підготовка локомотивів і локомотивних бригад (ППЛЛБ) – специфічний вид технічного обслуговування (ТО), що відрізняється від існуючих ТО-1, ТО-2 і ТО-3 та здійснюється одночасно з ними, котрий передбачає здійснення певних операцій контролю і діагностики технічного стану ТРС та психофізіологічного стану локомотивної бригади у відповідності до нормативних документів, які розроблюються окремо для кожної залізниці та кожної серії ТРС. ППЛЛБ передбачає наявність спеціального обладнання, пристосувань та інструменту, забезпеченість технологічним запасом деталей, приладів та матеріалів.

Найбільшу значущість у забезпечення якості ППЛЛБ набуває у зв'язку з появою нових типів ТРС (електровозів, дизель-поїздів, рейкових автобусів та ін.), оснащених

комплексними електронними системами управління, мікропроцесорними системами контролю і діагностики, системами безпеки руху, автоведення, нагляду за посадкою пасажирів, системами оперативної візуальної інформації, пожежної та охоронної сигналізації та ін.

Це вимагає науково-обґрунтованого підходу до визначення обсягу обслуговувань при ППЛБ, обґрунтованого часу на приймання-здавання ТРС, обґрунтування необхідності сучасного обладнання контролю і діагностики, певної якості ППЛБ, функцій вбудованого та зовнішнього діагностування, вимог до досконалості системи підготовки локомотивних бригад та ремонтників.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами*

Дисертаційна робота виконана на кафедрі “Експлуатація та ремонт рухомого складу” Української державної академії залізничного транспорту, яка є співвиконавцем науково-технічної частини Державної програми “Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту та міського господарства” та відповідно до планів науково-дослідних робіт у рамках галузевих програм Міністерства транспорту та зв'язку України і Укрзалізниці за темами “Наукове обґрунтування реалізації концепції розвитку систем діагностування у локомотивному господарстві залізниць України” (№ ДР 0101U002465, інв. № 0205U000882), “Проведення досліджень з визначення експлуатаційної надійності локомотивних бригад залізниць України” (№ ДР 0104U006298), “Розроблення інформаційної системи управління локомотивним господарством Укрзалізниці” (№ ДР 0198U005210, інв. № 0201U004596), “Розроблення автоматизованого робочого місця локомотивного диспетчера” (№ ДР 0197U003027, інв. № 0397U008027).

Матеріали дисертації використані при розробці “Концепції створення систем діагностики в локомотивному господарстві залізниць України”, що затверджена першим заступником Міністра транспорту України – Генеральним директором Укрзалізниці (наказ від 15.02.1998 № 110-Ц); при розробленні ряду нормативних документів Укрзалізниці з питань атестації експлуатаційної діяльності та ремонтних виробництв (ЦТ-0053 від 17.07.2002 №372-Ц, ЦТ-0110 від 03.02.2005 №037-ЦЗ); організації праці та відпочинку локомотивних бригад (ЦТ-0097 від 31.03.2004 №72-Ц); експлуатації та утримання пристроїв безпеки (від 27.08.2004 №660-ЦЗ).

*Мета і задачі дослідження*

Метою дослідження є вирішення наукової проблеми передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад. Для цього необхідна розробка методів оцінки якості підготовки локомотивів і локомотивних бригад до рейсу, заснованих на аналізі технічного стану локомотива та характеристиках діяльності і психофізіологічного стану локомотивних бригад при використанні сучасних засобів діагностики, моніторингу та обробки інформації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити систему експлуатації та передрейсового спорядження ТРС і визначити фактори, що впливають на її функціонування;
- дослідити процес передрейсової підготовки як одноканальну систему масового обслуговування неоднорідними потоками та визначити вплив неоднорідності потоків обслуговування на поведінку системи;
- розробити математичний опис технології передрейсової підготовки як складної багатокритеріальної моделі, що визначається на множині станів технічної

ергатичної системи;

- здійснити аналіз інформаційних потоків, що виникають у процесі передрейсової підготовки локомотива і локомотивної бригади;
- розробити модель взаємодії інформаційних потоків під час експлуатації локомотивів;
- отримати залежності надійності ТРС від характеристик діяльності основної ланки управління у системі “машиніст-локомотив”;
- теоретично обґрунтувати застосування узагальненого функціоналу якості технічної ергатичної системи;
- розробити критерії для оцінки надійності роботи машиністів локомотивів;
- розробити метод розрахунку показника передрейсової готовності локомотива і локомотивної бригади;
- розробити метод визначення показника складності ділянок експлуатації локомотивів для різних зональних умов;
- обґрунтувати основні напрямки вдосконалення системи передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад при впровадженні сучасних засобів діагностики, моніторингу і обробки інформації.

*Об'єктом дослідження є технологія передрейсової підготовки локомотивів та локомотивних бригад.*

*Предмет дослідження – локомотиви і локомотивні бригади.*

*Методи дослідження*

Методичною основою дослідження стали положення теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії масового обслуговування, а також методи теорії надійності та метод графів, методи теорії марковських процесів, метод варіаційного числення, принцип Чебишевської оптимізації, ітераційні методи, метод Ньютона у функціональному просторі, метод статистичного моделювання.

*Наукова новизна одержаних результатів*

Вперше:

1. Розроблено математичний опис технології передрейсової підготовки як складної багатокритеріальної моделі, що визначається на множині станів технічної ергатичної системи та враховує фактори готовності до рейсу локомотива на підставі діагностичної інформації, надійність локомотивної бригади на підставі інформації про психофізіологічний стан і кваліфікаційні ознаки, а також коефіцієнт складності рейсу.

2. Розроблено інформаційну модель експлуатаційного процесу на рівні локомотивного депо на основі аналізу інформаційних потоків, що виникають у процесі передрейсової підготовки локомотива і локомотивної бригади.

3. Запропоновано застосування узагальненої робочої характеристики для оцінки експлуатаційної надійності машиністів локомотивів з використанням другого методу Ляпунова для знаходження області стійких рішень з управління складним об'єктом.

4. Теоретично обґрунтовано можливість застосування узагальненого функціоналу якості технічної ергатичної системи із застосуванням методу експертних оцінок.

5. Запропоновано метод розрахунку показника передрейсової готовності локомотива і локомотивної бригади за критеріями швидкодії, безпомилковості, імовірності безвідмовної роботи, точності роботи та з врахуванням характеристик напруженості діяльності і коефіцієнта складності ділянки.

Удосконалено та одержало подальший розвиток:

6. Розроблено модель математичного опису процесу передрейсової підготовки як одноканальної системи масового обслуговування з неоднорідними потоками.

7. Запропоновано залежності ефективності роботи тягового рухомого складу від характеристик діяльності основної ланки управління у системі “машиніст-локомотив”.

8. Обґрунтовані основні напрямки вдосконалення системи передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад при впровадженні сучасних засобів діагностики, моніторингу і обробки інформації.

9. Доопрацьовано метод визначення показника складності ділянок експлуатації локомотивів на основі досліджень їх експлуатації у різних зональних умовах.

#### *Практичне значення одержаних результатів*

Розроблений комплекс моделей передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад дозволяє одержувати варіанти траєкторії поведінки системи технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу і показники її ефективності в залежності від стану локомотивного парку та рівня підготовленості локомотивних бригад.

Розроблені моделі із застосуванням критерію узагальнених робочих характеристик дозволяють оцінювати рівень надійності локомотивних бригад в залежності від рівня їх підготовленості, досягнутих показників у процесі передрейсової підготовки, результатів тренажерних занять.

Розроблене програмне забезпечення АРМ передрейсового інструктажу та контролю знань локомотивних бригад дозволяє враховувати статистичні показники та оцінювати рівень підготовленості членів локомотивної бригади.

Запропоновані засоби діагностування технічного стану локомотивів сприяють підвищенню надійності роботи їх вузлів та агрегатів.

Запропоновані рішення впроваджені на тренажерних комплексах локомотивних депо Одеської, Південно-Західної та Південної залізниць, а також у навчальному процесі УкрДАЗТ.

Результати досліджень використані:

- при підготовці рекомендацій щодо вдосконалення системи технічного утримання локомотивного парку, затверджених наказом Укрзалізниці від 31.01.2005 №30-ЦЗ;

- при підготовці нормативної бази Укрзалізниці з питань атестації експлуатаційних та ремонтних дільниць локомотивних депо;

- при розробленні правил утримання будинків та кімнат відпочинку локомотивних бригад.

#### *Особистий внесок здобувача*

У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить:

у роботі [1] – метод оцінки рівня готовності до виконання поїздки локомотива і локомотивної бригади;

у роботі [2] - аналітична модель, яка пов’язує ряд параметрів місцезнаходження, умов роботи локомотива та якість управління ним;

у роботах [5,6] – метод оцінки надійності машиністів з використання тренажерного комплексу;

у роботі [9] – методологію застосування засобів діагностування у технологічних процесах обслуговування локомотивів;

у роботі [11] - алгоритм створення технологічного процесу обслуговування локомотива в депо;

у роботі [13] – застосування нормованих значень параметрів для оцінки надійності машиніста;

у роботі [14] – математична модель інформаційних об'єктів локомотивного депо;

у роботах [22,26] – методологія побудови інформаційних технологій у локомотивному господарстві.

#### *Апробація результатів дисертації*

Результати досліджень доповідались автором на 61-66 науково-технічних конференціях з міжнародною участю УкрДАЗТ (ХІТ, 1998-2004 рр.); ХІІ–ХV міжнародних науково-практичних конференціях "Проблеми розвитку рейкового транспорту" (Крим, 2001-2004 рр.); 3-й міжнародній науково-практичній конференції "Безопасность движения поездов", (м. Москва, МІІТ, 2002 р.); 5-й науково-практичній конференції "Перспективи впровадження технічних засобів безпеки руху поїздів" (м. Феодосія, 2003 р.); засіданні Координаційної Ради з розвитку рейкового транспорту країн Центральної та Східної Європи (СЕЕ), (Чехія, 2005 р.). Повністю дисертація доповідалась на розширеному засіданні кафедри "Експлуатація та ремонт рухомого складу" УкрДАЗТ у 2005 р. за участю членів спеціалізованої вченої ради.

#### *Публікації*

Матеріали дисертації опубліковано у 26 друкованих роботах, з них 21 у виданнях, що затверджені ВАК України як фахові, 2 навчальних посібниках, 3 тезах доповідей.

#### *Структура і обсяг дисертації*

Дисертація складається із вступу, 5 розділів, висновку, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг складає 365 сторінок, у т.ч. 274 сторінок основного машинного тексту, 30 рисунків, 12 таблиць, списку літератури, який містить 226 найменувань на 20 сторінках та 7 додатків на 65 сторінках.

#### *Основний зміст роботи*

Вступ обґрунтовує актуальність теми дисертації, показує її наукову та практичну цінність. Сформульовано мету дослідження, подано стислу характеристику результатів досліджень, ступінь їхньої апробації й публікації, структуру роботи.

У першому розділі здійснено аналіз ефективності експлуатації локомотивів в умовах Укрзалізниці. Показано, що значний відсоток (біля 25%) витрат локомотивного господарства припадає на експлуатаційні витрати. Існуюча система планово-попереджувального ремонту, яка періодично корегується, на сьогодні забезпечує достатній рівень технічного стану ТРС. Однак, інтенсивність старіння парку локомотивів, поступове підвищення об'єму експлуатаційної роботи, поява у експлуатації ТРС нового покоління вимагає вироблення та реалізації упереджуючих заходів із забезпечення необхідної чисельності та експлуатаційної надійності парку ТРС при мінімізації витрат на його утримання.

Проведений аналіз стану безпеки руху на залізницях України показує, що значним чинником безпечного здійснення експлуатаційної роботи залишається так званий "людський фактор". Тільки за 2003 рік кількість виявлених порушень технологічної дисципліни у поїзній роботі перевищила 10 тис. випадків. Близько 80% проїздів заборонних сигналів сталися через грубі порушення локомотивними бригадами своїх обов'язків.

Наведені дані свідчать: необхідно шукати та напрацьовувати нові форми організації експлуатації локомотивів, які б враховували взаємодію сучасної складної техніки, інформаційні навантаження, які полягають на її операторів та можливості людей виконавців успішно справлятися з виникаючими завданнями.

У *другому розділі* виконано постановку проблеми і задач дослідження.

Проблемність ситуації полягає у тому що застарілий парк існуючого ТРС вимагає більших витрат на підтримання його працездатності. В той же час на залізниці починає надходити ТРС 4-го покоління із вбудованими системами контролю технічного стану, який вимагає нових підходів до стратегії обслуговування і експлуатації. З'явилися нові можливості для об'єднання розрізнених контрольно-вимірювальних приладів та засобів діагностики локомотивів у єдину інформаційну структуру з дистанційною передачею та накопиченням даних, їх обробкою та формуванням генезису кожної одиниці ТРС. З іншого боку значно зростає роль "людського" фактору у забезпеченні безпеки руху, що вимагає перегляду (реорганізації) системи підготовки та оцінки надійності локомотивних бригад, впровадження засобів об'єктивного контролю їх психофізіологічного стану та рівня кваліфікації.

Значний комплекс досліджень щодо удосконалення бортових систем діагностування та системи ремонту електровозів за фактичним технічним станом проводиться у ДНУЗТ ім. В.Лазаряна (ДПТ) під керівництвом Б.Є.Боднаря та А.А.Босова, відомі дослідження з цих питань таких вчених як В.О.Браташ, В.П.Феоктістов, А.Т.Осяєв, І.К.Лакін.

У галузі методичного забезпечення управління надійністю тягового рухомого складу слід відмітити роботи СНУ ім. В.Даля, що виконуються під керівництвом О.Л.Голубенка, В.П.Ткаченка сумісно зі спеціалістами ВАТ ХК "Луганськтепловоз". У розвиток цих проблем свій внесок здійснили такі вчені, як В.О.Четвергов, О.І.Володін, О.В.Горський, О.О.Воробйов, В.І.Кисельов, В.Г.Маслієв та інші.

Дослідження у галузі вдосконалення технології діагностування та технічного обслуговування тепловозів та дизель-поїздів проводяться УкрДАЗТ (ХПТ) під керівництвом Е.Д.Тартаковського та О.Б.Бабаніна в яких розроблені теоретичні основи прийняття рішень в умовах невизначеності ситуацій з технічним станом локомотива. При цьому Е.Д.Тартаковським була розроблена модель потокової технології діагностування з пріоритетами обслуговування при різних законах розподілу проведення контрольно-діагностичних операцій. Значний внесок у розвиток систем діагностування та оптимізації системи утримання локомотивів внесли роботи Т.В.Буцько, Б.І.Галая, В.Ф.Головка, Є.Є.Коссова, А.П.Кудряша, Т.Ф.Кузнєцова, В.Д.Кузьмича, Є.С.Павловича, О.Б.Підшивалова, Ю.Є.Просвірова, О.Г.Грищенко, В.В.Стрекопитова та інших.

Досліджувалась також проблема надійності залізничних операторів, ресурсозбереження та забезпечення безпеки руху. Роботи таких вчених як М.І.Данько, В.М.Самсонкін, В.Г.Козубенко, Є.В.Нагорний, Л.С.Нерсесян, І.В.Жуковицький, А.Б.Бойнік, В.Я.Негрей, В.Г.Брусенцов, В.Х.Далека та інших дозволили окреслити основні підходи до оцінки надійності операторів залізничної техніки, вдосконалення методів їх професійного відбору та контролю психофізіологічного стану, оцінювати рівні безпеки різних об'єктів залізничного транспорту.

Ці та інші дослідження показали, що проблема вдосконалення системи утримання локомотивів вирішується недостатньо. Зокрема:



- до цього часу окремо розглядалися питання організації експлуатації і окремо ремонту тягового рухомого складу (ТРС). Не дивлячись на те, що локомотивні депо, у більшості своїй, є структурами, які об'єднують експлуатаційну та ремонтну діяльність у науково-теоретичному плані ці питання були відокремленими;

- число параметрів такої технічної системи як локомотив (або тягова одиниця), за якими здійснюється стеження під час експлуатації не перевищує 10-20. Також і під час перебування у ремонті локомотив не розглядався як джерело інформації, що потребує своєчасної переробки. Насправді – кожна операція експлуатаційного або ремонтного характеру, створює інформаційний потік, який необхідно опрацьовувати для досягнення оптимальних управлінських рішень;

- відсутній підхід до поняття “тягова одиниця” як до людино-машинної системи. Тобто, якщо стосовно локомотива готовність його до виконання корисної роботи описувалась певними параметрами (запас палива, піску, масла, води, запас часу до виконання наступного обслуговування) то до локомотивної бригади (як операторів) вимоги щодо готовності зводилися до найпростіших (артеріальний тиск, температура тіла), а надійність забезпечувалась організаційними заходами і не мала об'єктивного кількісного вираження;

- відсутні методи планування експлуатаційного навантаження для локомотива та локомотивної бригади в залежності від їх стану;

- до цього часу парк локомотивів, що знаходиться у експлуатації розглядався як набір однотипних одиниць, хоча насправді немає практично хоча б двох ідентичних машин. Навіть у двосекційних локомотивах присутні розбіжності у параметрах секцій (генетика кожної машини різна).

Таким чином – науковою проблемою, що вирішується у даній роботі є систематизація методів моделювання процесу передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад, вибір показників її ефективності та розроблення критеріїв оцінки експлуатаційної надійності локомотивних бригад.

Розділ 3 присвячений аналізу та дослідженню процесу передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад з метою визначення основних параметрів його ефективності.

Процес передрейсової підготовки містить ряд технологічних операцій, спрямованих на досягнення найвищого рівня надійності людино-машинного комплексу “машиніст-локомотив” в реальних умовах експлуатації. Традиційно він складається з операцій по контролю стану, обслуговування та екіпірування локомотива; певної послідовності дій локомотивної бригади, під час яких посадовими особами приймаються рішення про можливість її допуску до роботи. Крім того, під час приймання локомотива бригада повинна за наявною інформацією правильно оцінити його технічний стан, виконати технологічні операції, необхідні для ведення поїзда. Існуючі способи обслуговування локомотивів бригадами передбачають проведення процедур передрейсової підготовки на станційних коліях, на коліях основного депо та у пунктах обороту локомотивів. Для кожного з цих випадків, а також в залежності від місцевих умов регламентуються норми часу на їх проведення. Однак, статистичні спостереження показали - розбіжності часу на виконання окремих операцій передрейсової підготовки досягають ста відсотків.

Проведені раніше дослідження процесів експлуатації та обслуговування ТРС базуються на уявленні про те, що потік вхідних заявок є однорідним і не враховують

необхідність обслуговування неоднорідних потоків заявок, неоднакових щодо фізичної природи та призначення, які виникають у процесі передрейсової підготовки локомотива та локомотивної бригади.

Припустимо, що технологічна система передрейсової підготовки як одноканальна система масового обслуговування приймає  $m$  простих неоднорідних потоків заявок з параметрами  $\lambda_i (i = \overline{1, m})$ . Час обслуговування заявок кожного потоку розподілено по експоненціальному закону з параметром  $\mu_i$ .

Нехай існує сталий режим роботи, при якому система статично стійка. Позначимо інтенсивність завантаження обслуговуючого пристрою від кожного потоку через  $\psi_i = \lambda_i / \mu_i$ .

Тоді сумарна інтенсивність  $\Psi_0 = \sum_{i=1}^m \psi_i$  повинна бути менше одиниці. Лише при цій умові система може працювати в стаціонарному (сталому) режимі.

Для аналізу системи, яка розглядається, необхідно визначити закон розподілу і параметр вхідного потоку. Так як кожен потік є найпростішим, то і сумарний потік буде найпростішим (пуассонівським) з параметром

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^m \lambda_i .$$

Для отримання характеристик якості роботи використаємо інтегральний метод.

Розглянемо моменти надходження кожної  $n$ -ої вимоги в систему і моменти виходу її з системи. Для кожної вимоги визначається функція розподілу часу перебування заявок в черзі  $F_n(x)$  і функція розподілу часу перебування заявок в системі  $G_n(x)$ . Для сталого режиму роботи утворюються наступні не залежні від  $n$  інтегральні рівняння

$$F(x) = \int_0^{\infty} a(\xi) G(x + \xi) d\xi, \quad (1)$$

$$G(x) = \int_0^{\infty} b(\xi) F(x - \xi) d\xi, \quad (2)$$

де  $a(\xi) = \lambda e^{-\lambda \xi}$  - функція щільності інтервалів часу між моментами надходження вимог пуассонівського потоку з параметром  $\lambda$  до системи;

$b(\xi)$  - функція щільності часу обслуговування заявок з параметром  $\mu$ .

Враховуючи, що у реальній системі передрейсової підготовки існують два неоднорідних за інформаційною суттю потоки (локомотиви і бригади), обмежимося значенням  $m=2$ . Застосувавши залежності інтегрального методу отримаємо наступні рівняння, для яких щільність розподілу часу обслуговування запишеться у вигляді

$$F(t) = 1 - C_1 e^{lt} + C_2 e^{at}, \quad (3)$$

де

$$C_1 = \frac{\lambda_0}{A} - \frac{\psi(\mu_1 + \mu_2 + \lambda_0)}{2A} + \frac{\psi_0}{2},$$

$$C_2 = C_1 - \psi_0,$$

$$A = \sqrt{\lambda_0^2 - 2(\lambda_1 - \lambda_2)(\mu_1 - \mu_2) + (\mu_1 - \mu_2)^2}.$$

$$a = -\frac{(\mu_1 + \mu_2 - \lambda_0) - \sqrt{\lambda_0^2 - 2(\lambda_1 - \lambda_2)(\mu_1 - \mu_2) + (\mu_1 - \mu_2)^2}}{2},$$

$$l = -\frac{(\mu_1 + \mu_2 - \lambda_0) + \sqrt{\lambda_0^2 - 2(\lambda_1 - \lambda_2)(\mu_1 - \mu_2) + (\mu_1 - \mu_2)^2}}{2}.$$

Середній час очікування у черзі

$$l = -\frac{(\mu_1 + \mu_2 - \lambda_0) + \sqrt{\lambda_0^2 - 2(\lambda_1 - \lambda_2)(\mu_1 - \mu_2) + (\mu_1 - \mu_2)^2}}{2}. \quad (4)$$

Функція розподілу часу перебування заявок в системі

$$G(t) = 1 - e^{lt} \left[ G_1 - \frac{\lambda_1 C_1 l}{\lambda_0 (l - \mu_2)} - \frac{\lambda_2 C_1 l}{\lambda_0 (l - \mu_2)} \right] +$$

$$+ e^{at} \left[ C_2 - \frac{\lambda_2 C_2 a}{\lambda_0 (a - \mu_1)} - \frac{\lambda_2 C_2 a}{\lambda_0 (a - \mu_2)} \right] -$$

$$- e^{-\mu_2 t} \frac{\lambda_1}{\lambda_0} \left[ 1 + \frac{C_1 \mu_1}{l - \mu_1} - \frac{C_2 \mu_1}{a - \mu_1} \right] -$$

$$- e^{-\mu_2 t} \frac{\lambda_2}{\lambda_0} \left[ 1 + \frac{C_1 \mu_2}{l - \mu_2} - \frac{C_2 \mu_2}{a - \mu_2} \right] \quad (5)$$

Розрахункова формула для середнього часу перебування заявок в системі

$$\bar{u} = \frac{\psi_1 / \mu_1 + \psi_2 / \mu_2}{1 - \psi_0} + \frac{\psi_0}{\lambda_0}. \quad (6)$$

Слід зазначити: середній час обслуговування, який визначається другою складовою рівняння (6) не враховує неоднорідність заявок, що надходять у систему. При цьому виникає похибка у розрахунку значень характеристики якості роботи системи. Величина її залежить від співвідношення середніх значень часу обслуговування неоднорідних потоків і для  $m=2$  може бути виражена як

$$\Delta = \frac{R + \mu_1 / \mu_2 + \mu_2 / \mu_1}{R + 2}, \quad (7)$$

$$\text{де } R = \frac{\psi_1^2 + \psi_2^2}{\psi_1 \psi_2}.$$

Залежність величини похибки  $\Delta$  від співвідношення  $\mu_1 / \mu_2$  наведено на рис.1. Як бачимо при  $\mu_1 / \mu_2 = 10$  похибка у розрахунках перевищує 100%. Оптимальним є співвідношення у межах  $0,8 \div 1,5$ .

За даною моделлю вдалося розрахувати середні значення часу на проведення операцій передрейсової підготовки локомотива.

Показником ефективності процесу передрейсової підготовки будемо вважати кількісну характеристику властивостей, що визначають його здатність забезпечити

виконання поїздки із заданим рівнем безпеки. Зважаючи на значну кількість елементів транспортної системи, їх складну взаємодію у процесі експлуатації та вплив широкого спектру випадкових факторів ефективність процесу передрейсової підготовки теж можна виразити значною кількістю показників.

Критерій ефективності передрейсової підготовки в процесі експлуатації може бути представлений у вигляді співвідношення декількох часткових показників, що відображають різні властивості системи.

Нехай комплексний критерій заданий у вигляді

$$F = \sum_{i=1}^n \gamma_i I_i, \quad (8)$$

де  $\gamma_i$  - ваговий коефіцієнт  $i$ -го показника  $I_i$ ,  $i \in [1, n]$ .

Кожен із часткових критеріїв, що характеризують роботу вузла чи агрегату локомотива представляє собою функціонал

$$I_i = I_i(x, u, x^{(3)}, x^{(0)}, x^{(k)}, z, t) = I_i(\bullet), \quad (9)$$

де  $x$  - вектор технічного стану локомотива;

$u$  - вектор керування;

$x^{(3)}$  - вектор задаючих впливів;

$x^{(0)}$  - вектор початкових умов;

$x^{(k)}$  - вектор кінцевого стану;

$z$  - якість роботи локомотивних бригад;

$t$  - час.

Функціонали (9) визначені на рішеннях системи

$$\frac{dx}{dt} = f(\bullet),$$

де  $f$  - вектор функції узагальненої сили.

При заданих умовах необхідно визначити коефіцієнти комплексного критерію ефективності у виразі (8)  $\gamma = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n\}$ .

Можливі такі варіанти рішень. Рішення задачі в рамках принципу рівномірної оптимізації за допомогою принципу Чебишева

$$opt_1 F_0 = \min_{\nu} \max_k \varphi_{0,k}(\gamma), \quad k \in [1, s], \quad (10)$$

де  $opt_1 F_0$  - оператор оптимізації вектора  $F_0 = \{\varphi_{0,1}; \varphi_{0,2}; \dots \varphi_{0,s}\}$ ,

або із застосуванням принципу інтегральної оптимальності, коли

$$opt_2 F_0 = \min_{\gamma} \sum_{k=1}^s \varphi_{0,k}(\gamma). \quad (11)$$

Якщо вибрати варіант рішення у рамках принципу інтегральної оптимальності, то необхідно мінімізувати функцію Ляпунова

$$V(\gamma) = \sum_{k=1}^s \varphi_{0,k}(\gamma), \quad (12)$$

що приводить до системи рівнянь

$$\begin{cases} \gamma_1 = 1 \\ \frac{\partial V(\gamma)}{\partial \gamma_i} = 0, \quad j \in [2, n] \end{cases}. \quad (13)$$

Рішення системи рівнянь (13) дає значення вагових коефіцієнтів  $\gamma$ , при яких процес передрейсової підготовки буде оптимальним.

В ідеальному випадку рішення, отримані на основі розглянутих двох принципів оцінювання, співпадають або достатньо близькі. Отримати вагові коефіцієнти цілком можливо і іншими методами, зокрема за допомогою методу евристичного моделювання або експертних оцінок.

Метод евристичного моделювання потребує від експертів професіонального знання явищ, що оцінюються. В той же час для кваліфікованих фахівців цей метод найпростіший в застосуванні і допускає одночасну оцінку доволі великої кількості окремих критеріїв. Основним недоліком такого підходу при синтезі критерію ефективності є суб'єктивність і можливість довільності. Для зниження впливу цього негативного явища використовується метод експертних оцінок, суть якого полягає в тому, що невідома кількісна характеристика розглядається як випадкова величина, відображення закону розподілу якої є індивідуальна думка спеціаліста-експерта.

Таким методом були розраховані вагові коефіцієнти параметрів тепловозів  $\gamma_i$  для оцінки ефективності процесу передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад, що наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Вагові коефіцієнти параметрів тепловозів для оцінки ефективності процесу ППЛЛБ

	Параметр тепловозу, що контролюється у процесі ППЛЛБ	Величина вагового коефіцієнту $\gamma_i$
1	Частота обертання колін валу дизеля	0,077
2	Тиск масла	0,074
3	Тиск палива	0,070
4	Продуктивність компресора	0,088
5	Тиск наддувочного повітря	0,088
6	Потужність тепловоза	0,103
7	Струм і напруга ТГ	0,097
8	Напруга АБ	0,069
9	Струм зарядки АБ	0,068

Зміну ефективності системи ППЛЛБ у процесі її функціонування можливо дослідити, якщо застосувати для опису локомотива як об'єкта передрейсової підготовки систему рівнянь, що описує динаміку деякого багатовимірного процесу

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = F(t, x, y, z, u, v) \\ \frac{dy}{dt} = G(t, x, y) \\ \frac{dz}{dt} = W(t, x, y, z, uv) \end{cases}, \quad (14)$$

де  $x$  – технічний стан локомотива;

$y$ - умови роботи;

$z$ - якість роботи локомотивної бригади;

$v$  - коефіцієнт складності, що враховує серію локомотива.

Необхідно синтезувати закон управління множиною станів локомотива у процесі передрейсової підготовки

$$u = u(t, x, y, z, v, p), \quad (15)$$

де  $p$  - новий керуючий параметр,

$u$ - функція управління.

Необхідно знайти такий закон управління  $u(x,y,z,v)$ , який забезпечував би абсолютну інваріантність всієї множини функціональних поведінок локомотивної бригади та їх здатність якісного виконання приймання локомотива, що задається значеннями параметрів  $\mu$  і  $p$ .

Таким чином функціональне рівняння абсолютної інваріантності буде мати вигляд

$$F(t, x, y, z, u, v(t)) = F_u(t, x, y, p, \alpha), \quad (16)$$

де  $\alpha$  - параметр задання функціональної поведінки системи.

Необхідно побудувати рівняння, що враховує обсяг, склад і кількість інформації про локомотив, ефективність здійснення передрейсових операцій локомотивною бригадою. Для цього застосуємо II-й метод Ляпунова в задачі синтезу гомеостатичної частини керуючого пристрою. Нехай задано керування, що описує об'єкт передрейсової підготовки (локомотив)

$$\frac{dz}{dt} = A(t, z)z + B(t, z)u, \quad u \in U, \quad (17)$$

де  $z = (z_1, \dots, z_n)$  - вектор стану об'єкту;

$A(t, z)$  -  $n \times n$  - матриця  $\|a_{ij}(t, z)\|^n$ ;

$B(t, z)$  - матриця-стовпець з компонентами  $b_i(t, z)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$u$  - скалярний керуючий вплив,  $u \in (-1; +1)$ .

Необхідно на основі об'єкту (17) синтезувати гомеостатичну "надбудову" людини. Властивостями функціональної поведінки системи передрейсової підготовки, стабільність яких необхідно реалізувати при синтезі гомеостатичного керуючого пристрою, можна прийняти, по-перше властивість незалежності досягнення системою цільової множини  $S$ ; і по-друге, властивість монотонної стійкості у вигляді функції Ляпунова

$$V = z^T D z \quad \left( D = \|d_{ij}\|^n; d_{ij} = \text{const}; D_r > 0, \forall r \in (1, 2, \dots, n) \right). \quad (18)$$

Таким чином, зміна ефективності системи в процесі її функціонування

$$\frac{dV}{dt} = \Phi(t, z, p), \quad p \in P,$$

тобто  $z^T L z = \Phi(t, z, p)$ .

Доцільно перейти до системи простих диференціальних рівнянь, які б характеризували зміну станів локомотива та ефективність виконання передрейсової підготовки

$$\frac{dx}{dt} = A(t, x)x + B(t, x)C(t, x, p_1);$$

$$\frac{dV}{dt} = \Phi(t, x, p_1),$$

де  $(x, V)$  - параметри, що керуються та характеризують стан локомотива.

**Розділ 4** дисертаційної роботи присвячений дослідженню інформаційних потоків у процесі передрейсової підготовки та стійкості функціонування ергатичної системи "машиніст-локомотив".

Основний потік інформації різноманітного характеру локомотивна бригада у процесі передрейсової підготовки отримує через засоби відображення інформації (ЗВІ). Вони є технічною основою для побудови інформаційної моделі експлуатаційної роботи.

Слід також враховувати, що частина інформації надходить до локомотивної бригади традиційними способами через паперові носії (журнали форми ТУ-152, маршрут машиніста, тощо). Інформаційну модель експлуатаційної роботи, що охоплює процес передрейсової підготовки зображено на рис.2. Кількісна оцінка інформаційних потоків у процесі передрейсової підготовки проводиться за допомогою математичних методів теорії масового обслуговування і теорії інформації. Для врахування особливостей інформаційних потоків у моделі її було асоційовано з моделями систем, що відносяться до класу динамічних мікропроцесів, і конкретно до електродинамічних систем, або мереж часткового вигляду.

Як і у випадку дослідження процесів, що протікають в електротехнічних мережах, структура інформаційних потоків є основою для побудови математичної моделі досліджуваного процесу. В теорії макропроцесів типу фізичних однорідних і неоднорідних потоків у мережі при побудові структурної схеми потоків, або мережі потоків, використовують узагальнене поняття “вузлова точка”, що формалізується рівняннями безперервності або рівняннями зберігання, і відображає той факт, що для будь-якого вузла структури потоків у мережі різниця між величиною вихідних  $\Sigma P_{ji}$  і вхідних  $\Sigma P_{ij}$  потоків в  $i$ -ий вузол повинна дорівнювати його інтенсивності. Структури такого типу являють собою по суті граф Бержа  $(I, U)$ , де  $I$  - множина вершин (узагальнених вузлових точок),  $(i, j) \in U$  - множина дуг, що з'єднують вузли.

Для складання рівнянь інформаційного потоку використовується узагальнене рівняння безперервності і зберігання потоку для вузла структури потоків

$$\left( \frac{dy_i}{dt} - U_{ii} \right) = \sum_{j \in I_1} P_{ij}(y, U_{ij}) - \sum_{j \in I_1} (y_i; y, U_{ji}), \quad i \in I, \quad (19)$$

де  $y$  - вектор кількісних параметрів потоку інформації;

$U_{ii}$  - збурення інтенсивності потоку  $i$ -ої вершини;

$U_{ij}$  - збурення потоків у гілках;

$U_{ji}$  - вектор узагальненого керування інформаційним потоком;

$U_i$  - множина вершин  $j$ , зв'язаних дугами  $ij$  з  $i$ -ою вершиною.

Рівняння, що описують інформаційні потоки аналогічні рівнянням, що описують електричні мережі, мережі фізичних потоків, після приведення їх до вигляду

$$\frac{dp_i}{dt} - u_i = \sum_{j \in N} \lambda_{ji} p_j \quad (20)$$

по суті представляють узагальнений закон безперервності і зберігання для металанцюга, відповідно до якого різниця інтенсивностей повного вихідного  $\frac{dp_i}{dt}$  і збурюючого  $u_i$  метапотоків на різниці величин метапотоків, що входять і виходять через  $i$ -ий вузол замкнутого металанцюга. Це правило може служити формальним правилом складання рівнянь для заданого металанцюга системи.

Так, наприклад, у процесі передрейсової перевірки швидкостеміра СЛЗ-М виникають інформаційні ситуації як на рис.3. Машиніст повинен: перевірити швидкостемір (1), звірити годинник швидкостеміра (2), заправити діаграмну стрічку (3), зачистити писці швидкостеміра при необхідності (4). Інформаційні потоки, що переводять процес із стану у стан відомі  $(\lambda_1 - \lambda_4)$ . Тоді можливо за вищевказаним правилом

скласти систему диференціальних рівнянь, які дозволяють знайти ймовірності перебування у кожному із станів.

$$\begin{cases} \frac{dp_1}{dt} = -\lambda_{12} p_1 + \lambda_{31} p_3 \\ \frac{dp_2}{dt} = \lambda_{12} p_1 - \lambda_{23} p_2 - \lambda_{24} p_2 \\ \frac{dp_3}{dt} = -\lambda_{31} p_3 + \lambda_{23} p_2 + \lambda_{43} p_4 \\ \frac{dp_4}{dt} = -\lambda_{43} p_4 + \lambda_{24} p_2 \end{cases},$$

де  $S_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) – інформаційний стан процесу перевірки;

$p_1, p_2, p_3, p_4$  – ймовірності виникнення  $i$ -го стану;

$\lambda_{12}, \lambda_{23}, \lambda_{43}, \lambda_{24}, \lambda_{31}$  – інтенсивності переходу в  $i$ -ий стан.

Такий аналіз інформаційних потоків дозволяє оцінити завантаженість машиніста у процесі передрейсової підготовки, що досить важливо, так як організація потоків інформації повинна виключати як перевантаження так і недовантаження оператора і оптимізувати потік, що виводиться через ЗВІ.

Забезпечення високої надійності роботи оператора, а отже стійкості всієї системи “людина - машина” є однією з найважливіших задач на залізничному транспорті. Її вирішення є суттєвою складовою підвищення якості, ефективності, а головне - безпеки перевезень.

При визначенні надійності системи “машиніст-локомотив” необхідно враховувати наступне:

1. Показники надійності повинні бути єдиними для всіх ланок системи “машиніст-локомотив”. Тому створювані методи оцінки надійності такої системи повинні максимально використовувати показники, математичний апарат і методи розрахунку, розроблені в межах існуючої теорії надійності технічних пристроїв. При цьому показники надійності системи повинні по можливості містити в собі в явному вигляді показники надійності її окремих ланок - людини і машини.

2. При визначенні надійності системи “машиніст-локомотив” із методичної точки зору доцільно представляти людину-оператора як одну з ланок системи. Водночас слід розуміти, що людина є специфічною ланкою із властивими тільки їй особливостями. Тому використання існуючої теорії надійності при оцінці діяльності людини має обмежений характер.

3. Необхідно одержати універсальний вираз для визначення коефіцієнту передрейсової підготовки, який є багатокритеріальною характеристикою ергатичної системи та включає часткові критерії якості роботи машинної частини та критерії, що характеризують як професійні навички людини-оператора так і її психофізіологічний стан.

Основним показником надійності ергатичної системи варто прийняти ймовірність безвідмовного, безпомилкового і своєчасного виконання задачі, яка визначається через показники надійності оператора і техніки з урахуванням взаємного впливу їх один на одного. При визначенні надійності системи “машиніст-локомотив” використовуються показники надійності оператора і техніки. До числа останніх відносяться показники, що



широко використовуються в теорії надійності: ймовірність безвідмовної роботи протягом часу  $t$  -  $P(t)$  і коефіцієнт готовності  $K_2$ . Взаємний вплив людини і техніки може бути врахований показником ймовірності відновлення техніки, що відмовила,  $P_{відн}$ .

Можливі два підходи до оцінки надійності ергатичної системи “машиніст-локомотив”: без врахування психоемоційного стану людини та з врахуванням рівня напруженості роботи людини.

Надійність машиніста як оператора характеризується показниками безпомилковості, готовності, відновлюваності і своєчасності.

Безпомилковість характеризується наступною залежністю

$$P_{on} = e^{-\sum_{j=1}^r \lambda_j T_j k_j}, \quad (21)$$

де  $\lambda_j$  - інтенсивність помилок  $j$ -го виду;

$T_j$  - середній час виконання операції  $j$ -го виду;

$k_j$  - число виконаних операцій  $j$ -го виду;

$r$  - число різних типів операцій ( $j=1, 2, \dots, r$ ).

На підставі відомих положень теорії ймовірності величина своєчасності  $P_{cv}$  може бути визначена як

$$P_{cv} = P\{\Delta t \geq 0\} = \int_{-\infty}^{\frac{\Delta t}{\sigma_{\Delta}}} e^{-\frac{x^2}{2}} dx = 0,5 + \Phi_0\left(\frac{\Delta t}{\sigma_{\Delta}}\right),$$

де  $\Phi_0\left(\frac{\Delta t}{\sigma_{\Delta}}\right)$  - інтеграл Лапласа, значення якого відомі.

Надійність діяльності машиніста як оператора не залишається величиною постійною, а змінюється з часом. При цьому показник надійності представляє собою дискретну випадкову величину, неявним чином залежну від часу через обрані умови діяльності (чинники надійності). На рис. 4 показана динаміка зміни станів системи з часом. Система може приймати стани  $i=1, 2, 3, \dots$ . У кожному з цих станів надійність оператора приймає значення відповідно  $P_{on1}, P_{on2}, P_{on3}, \dots$ . Наприклад, у проміжки часу  $0 - t_1, t_2 - t_3, t_4 - t_5$  система знаходиться в стані, умовно позначеному  $i=4$ . Цей стан обумовлений дією деяких чинників, що впливають на надійність роботи оператора, що у даному випадку дорівнює  $P_{on4}$ . При дії інших чинників система знаходиться в інших станах, кожному з них відповідає деяке значення надійності роботи оператора.

Для визначення результуючої надійності оператора в цьому випадку може бути використана формула

$$P_{on} = \sum_{i=1}^m \frac{P_i P_{on}}{i}, \quad (22)$$

де  $P_i$  - ймовірність настання  $i$ -го стану системи;

$m$  - кількість станів системи, що розглядається;

$\frac{P_{on}}{i}$  - умовна ймовірність безпомилкової роботи оператора в  $i$ -му стані.

Підвищенню надійності діяльності оператора сприяє контроль за його роботою з боку іншого оператора – помічника машиніста. Контролюючий оператор може підключатися на контроль не завжди, а лише з деякою ймовірністю  $P_{рез}$ . У першому наближенні вона дорівнює

$$P_{рез} = 1 - \eta, \quad (23)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт завантаженості помічника машиніста.

Для розрахунку надійності роботи машиніста з врахуванням результатів контролю його дій з боку помічника можуть бути використані формули ковзного резервування, що застосовуються в теорії надійності.

Ймовірність безпомилкової роботи в цьому випадку дорівнює

$$P_{on_i} = (N + 1)P_{on}^N - NP_{on}^{N+1}, \quad (24)$$

де  $N=I$  – кількість помічників машиніста.

Оскільки помічник машиніста підключається на контроль не завжди, а лише з імовірністю  $P_{pez}$  (в інших випадках надійність оператора дорівнює  $P_{on}$ ), то остаточно вираз для оцінки надійності роботи оператора прийме вигляд

$$P_{on}^1 = P_{pez} [(N + 1)P_{on}^N - NP_{on}^{N+1}] + (1 - P_{pez})P_{on}. \quad (25)$$

У такому виді формула може застосовуватися в практичних розрахунках надійності при ковзному резервуванні його роботи.

Відповідно до загальних правил знаходження ймовірностей складних подій надійність системи людина - машина запишеться в наступному вигляді

$$P_{л.м.}(t) = P_T(t) + [1 - P_T(t)]K_{on} [P_{on}P_{св} + (1 - P_{on})P_{вин}(t)], \quad (26)$$

де  $P_T(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи технічних засобів;

$K_{on}$  - коефіцієнт готовності оператора;

$P_{св}$  - ймовірність своєчасного виконання оператором необхідних дій;

$P_{вин}$  - ймовірність виправлення помилкових дій.

Розрахунок надійності технічних засобів дав наступні результати: ймовірність безвідмовної роботи протягом часу однієї поїздки  $P_T = 0,989$ ; коефіцієнт готовності  $K_2 = 0,958$ .

При аналізі системи виявлено три можливих стани, що впливають на надійність машиніста локомотива: нормальний (ненапружений) стан, дефіцит часу, інформаційне перевантаження. Розрахунок надійності машиніста, проведений за формулою (22) для кожного з цих станів, дав наступні результати:  $P_{on1} = 0,975$ ;  $P_{on2} = 0,960$ ;  $P_{on3} = 0,945$ .

З досвіду експлуатації відомо, що локомотив, який відмовив у процесі поїздки, може бути відновлений без зриву графіка приблизно в 50% випадків, тобто можна прийняти  $P_{від} \approx 0,5$ . Машиніст може контролювати за допомогою інструментального самоконтролю приблизно 80% своїх дій, тобто  $P_K = 0,8$ . Ймовірність виявлення машиністом сигналу схеми контролю  $P_{вияв} = 0,99$ . Зазвичай, локомотивна бригада складається з двох операторів. Коефіцієнт завантаженості машиніста, знайдений при аналізі його діяльності, складає  $\eta = 0,6$ . Ймовірності станів системи машиніст-локомотив, знайдені методом статистичного моделювання, дорівнюють  $P_1 = 0,7$ ,  $P_2 = 0,2$ ,  $P_3 = 0,1$ .

Середня ймовірність своєчасного і правильного виконання поїздки системою машиніст-локомотив у конкретному випадку дорівнює

$$P_{л.м.} = \sum_{i=1}^3 \frac{P_i P_{on}}{i} = 0,938.$$

Цю ймовірність і варто використовувати в якості показника надійності системи машиніст-локомотив.

Однак оцінити діяльність людини-оператора в ергатичній системі керування дуже складно. Підраховано, що на цю діяльність впливають близько півтори тисячі пов'язаних між собою факторів.

Для визначення психофізіологічної напруги людини-оператора використовують його фізіологічні характеристики маючи на увазі, що будь-який психічний прояв має фізіологічну основу.

Визначають гранично можливі значення вибраних фізіологічних показників  $y_{1max}, y_{2max}, \dots, y_{nmax}$  і ці ж показники в досліджених умовах роботи  $y_1, y_2, \dots, y_n$ . Психофізичну напруженість оцінюють за формулою

$$I_{л-о} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i}{y_{imax}} \right)^2}. \quad (27)$$

Часткові критерії технічної частини системи та критерії діяльності людини-оператора в сукупності дозволяють судити про якість роботи всієї ергатичної системи керування в цілому.

Машиніст локомотива, як оператор є специфічною ланкою у системі “людина-машина” і характеризується психічною напруженістю своєї діяльності. На відміну від попередніх цей показник не має свого аналога у машинної частини системи.

Показником швидкодії обробки інформації машиністом є час рішення задачі, тобто час від моменту появи інформації про задачу до моменту закінчення здійснення керуючих впливів. Цей час пропорційний кількості інформації, що переробляється людиною

$$\tau = a + bI,$$

де  $I$  - кількість інформації, що переробляється машиністом.

Константи  $a$  і  $b$  мають наступний зміст:

$a$  - час реалізації рішення;

$b$  - витрати часу на опрацювання одиниці інформації.

Необхідна швидкодія машиніста визначається тривалістю циклу передрейсової підготовки і зазвичай буває задана

$$T_{ц} = \sum_{i=1}^n t_i + \tau_{np}, \quad (28)$$

де  $T_{ц}$  - тривалість циклу передрейсової підготовки;

$t_i$  - час прийняття рішення по  $i$ -му вузлу локомотива;

$n$  - число вузлів локомотива, що проходять контроль у процесі передрейсової підготовки.

При заданому  $T_{ц}$  і відомих  $t_i$  (вони звичайно відомі з паспортних даних вузлів локомотивів) від машиніста потрібна швидкодія

$$\tau_{np} \leq T_{ц} - \sum_{i=1}^n t_i. \quad (29)$$

Надійність діяльності машиніста характеризується ймовірністю правильного рішення задачі. Для оцінки цієї ймовірності використовується формула

$$P_{маш} = \frac{m}{N}, \quad (30)$$

де  $m$  - число правильно вирішених задач;

$N$  - загальне число задач, що розв'язуються.

Необхідна надійність машиніста визначається надійністю всієї системи передрейсової підготовки

$$P_y = P'_{\text{маш}} \prod_{i=1}^n P_i(T_y), \quad (31)$$

де  $P_i(T_y)$  - ймовірність правильного обслуговування  $i$ -го вузла локомотива протягом часу передрейсової підготовки  $T_y$ .

При заданому  $P_y$  і відомих  $P_i$  (їх значення звичайно бувають відомими) необхідна надійність машиніста повинна бути

$$P'_{\text{маш}} \geq \frac{P_y}{\prod_{i=1}^n P_i(T_y)}. \quad (32)$$

Точність роботи машиніста може бути визначена як величина похибки, з якою машиніст вимірює, встановлює або регулює деякий параметр

$$\gamma = |I_n - I_{\text{маш}}|,$$

де  $\gamma$  - похибка вимірювання (встановлення, регулювання) деякого параметру;

$I_n$  - номінальне значення параметру;

$I_{\text{маш}}$  - значення цього параметру, що фактично регулюється машиністом.

Випадкова похибка машиніста, яка виникає при вимірюванні параметру, якщо кількість вимірювань дорівнює  $l$

$$\gamma_{\text{маш}} = \sqrt{\frac{1}{l-1} \sum_{j=1}^l (\gamma_j - \gamma)^2}, \quad (33)$$

де  $\gamma_j$  - похибка  $j$ -го вимірювання (встановлення, регулювання) параметру;

$l$  - кількість вимірювань параметру.

Тоді показник передрейсової підготовки визначається

$$Q = \left( \frac{\tau_{np}}{\tau} + \frac{P_{\text{маш}}}{P'_{\text{маш}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\gamma}{\gamma_{\text{маш}}} + \sum_{i=1}^n \frac{I_p}{I_n} \sigma \right) \frac{k}{I_{\text{чо}}}, \quad (34)$$

де  $k$  - коефіцієнт складності роботи,  $0 < k < 1$ ;

$\sum_{i=1}^n \frac{I_p}{I_n}$  - сума відносних показників, які характеризують роботу машинної частини.

Таким чином, з урахуванням наведених вище залежностей

$$Q = \left( \frac{T_y - \sum_{i=1}^n t_i}{a + bI} + \frac{\frac{m}{N}}{\frac{P_y}{\prod_{i=1}^n P_i(T_y)}} + \sum_{i=1}^n \frac{\gamma}{\sqrt{\frac{1}{l-1} \sum_{j=1}^l (\gamma_j - \gamma)^2}} + \sum_{i=1}^n \frac{I_p}{I_n} \sigma \right) \frac{k}{\sqrt{\frac{1}{d} \sum_{\xi=1}^d \left( \frac{y_{\xi}}{y_{\xi_{\max}}} \right)^2}}. \quad (35)$$

Діаграми залежності показника передрейсової підготовки від показників складності та параметрів машиніста показані на рис. 5, 6.

Оцінка напруженості в роботі оператора може проводитись з використанням гранично припустимих норм діяльності, під якими розуміються максимальні значення деяких параметрів. Вихід за межі норм може привести до небажаних наслідків у роботі або стані оператора. Гранично припустимі норми можуть бути введені стосовно наступних показників: фізіологічних параметрів працюючої людини; параметрів інформаційного навантаження оператора.

Оцінка напруженості, заснована на вимірюванні динаміки зміни фізіологічних показників, широко застосовується на практиці. Приклад їх номінальних і допустимих значень дається в табл. 2.

Таблиця 2

Можливі зміни фізіологічних показників працюючої людини

Назва показників	Зміна фізіологічних показників		
	оптимальна	допустима	недопустима
Збільшення частоти серцебиття (уд/хв) по відношенню до норми	4-16	17-28	Більше 28
Порушення ритмічності серцебиття	Немає	Немає	Є
Зміна кров'яного тиску верхнього	До 15	15-30	Більше 30
нижнього	До 10	10-15	Більше 15
Зміна частоти дихання (цикл/хв)	12-18	19-30	Більше 30 з вираженими змінами ритму

Найбільший вплив на результати діяльності оператора робить характер інформаційного потоку, що надходить до нього. Тому великий інтерес представляє використання для визначення напруженості оператора гранично припустимих норм, що характеризують значення інформаційного навантаження оператора. До них відносяться: коефіцієнт завантаженості, період зайнятості, довжина черги інформаційних повідомлень, час перебування інформації на опрацюванні, швидкість надходження інформації.

Коефіцієнт завантаженості машиніста локомотива у процесі ППЛЛБ можливо визначити за формулою

$$\eta = 1 - \frac{\tau_d}{T_u}, \quad (36)$$

де  $\tau_d$  - загальний час, протягом якого машиніст виконує операції, не пов'язані з опрацюванням інформації, що надходить.

Суттєве значення має також швидкість надходження інформації. Ця швидкість не повинна перевищувати пропускної спроможності машиніста локомотива. Рекомендована пропускна спроможність для операторів складних систем не перевищує 30 дв. од/сек. Реально ж для машиністів вона лежить у межах 1÷5 дв. од/сек.

За розрахунками для існуючих серій локомотивів та технології їх приймання коефіцієнт завантаженості складає  $\eta=0,6$ . Рекомендована нормативами інженерної психології величина  $\eta=0,75$ . Ці значення показників слід враховувати при розробленні засобів автоматизованого передрейсового інструктажу та вдосконалення технології ППЛЛБ.

У *п'ятому розділі* дисертації наведено результати розробок для впровадження у технологію передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад. Так у локомотивних депо Одеської, Південно-Західної, Південної залізниць впроваджені пристрої діагностування технічного стану локомотивів, які розроблені з врахуванням

інформаційних технологій, здатні отримувати, обробляти, зберігати та передавати інформацію про локомотив. Найважливішою характеристикою таких пристроїв є те, що вони дають змогу обслуговуючому персоналу оперативно приймати рішення щодо можливості подальшої експлуатації певного вузла локомотива або необхідності його регулювання, ремонту чи заміни. Програмне забезпечення цих пристроїв містить дані про паспортні значення діагностичних параметрів, допустимі відхилення при різних рівнях напруження та надає рекомендації персоналу щодо подальшого використання цього вузла.

Для вдосконалення технології передрейсової підготовки пропонується впровадження трирівневої системи контролю і управління технічним станом ТРС.

На I рівні передбачається забезпечення стендовим обладнанням зі спеціалізованими та стандартними засобами вимірювань та діагностування технологічних процесів ремонту з можливістю формування електронного паспорта локомотива.

На II рівні застосовуються переносні та стаціонарні засоби контролю та діагностування, які здатні реєструвати стан вузлів локомотивів при виконанні технічних обслуговувань.

На III рівні використовуються бортові системи контролю і діагностування. Вони призначаються для оперативного регулювання та попередження аварійних ситуацій, вибору оптимальних режимів роботи і передачі інформації до загальної бази даних і ведення електронного паспорта.

Модернізація існуючого ТРС засобами III-го рівня може здійснюватись при заводських ремонтах.

Реалізація трирівневої системи контролю є необхідною передумовою моніторингу технічного стану рухомого складу.

Важливим для вдосконалення технології передрейсової підготовки є використання сучасних засобів об'єктивної оцінки психофізіологічного стану локомотивних бригад. У ряді локомотивних депо застосовуються досвідні зразки комплексу передрейсового контролю локомотивних бригад "Гамма-2", розроблені на замовлення Укрзалізниці. Для отримання параметрів взаємодії "людина-машина" здійснювались їх сумісні випробування з тренажером машиніста. Це дозволило отримати значення параметрів оператора – швидкодію, кількість помилок, час вирішення задачі, точність регулювання, які необхідні для здійснення розрахунків за формулою (35). Крім того, таке поєднання двох комплексів, тренажерного та психофізіологічного контролю, з накопиченням результатів у базі даних дозволяє створити систему моніторингу рівня експлуатаційної надійності локомотивних бригад.

Розрахунок економічного ефекту від запроваджуваних рішень здійснювався по пристроях діагностування локомотивів. Для локомотивного депо з парком 100 електровозів у експлуатації, використання засобів діагностування та передрейсового контролю електричних ланцюгів і апаратів типу "Доктор-030" дає економію експлуатаційних витрат майже 202 тис. грн. на рік.

Оцінити ефективність технології передрейсової підготовки по "людському фактору" можливо за рівнем безпеки руху поїздів. Аналіз показує, що по тих депо, де впроваджувалась така технологія кількість транспортних подій зменшилась з рівня 7 випадків у 1998 до 1-2 у 2004 році.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконаного дослідження вирішена наукова проблема удосконалення технології передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад, що забезпечує зменшення експлуатаційних витрат, покращення технічного стану локомотивного парку та підвищення безпеки руху.

Розроблені та вдосконалені методи оцінки якості підготовки локомотивів і локомотивних бригад до рейсу, які враховують технічний стан, безвідмовність локомотива та характеристики діяльності і психофізіологічного стану членів локомотивних бригад дозволяють комплексно вирішувати задачі визначення кількісних показників передрейсової готовності локомотива і локомотивної бригади, приймати обґрунтовані рішення щодо регламенту робіт при технічному обслуговуванні та напрямки вдосконалення підготовки і навчання локомотивних бригад, а з врахуванням коефіцієнта складності ділянок експлуатації оптимізувати використання людино-машинного комплексу “машиніст-локомотив” за його поточною надійністю. Теоретичні і методичні розробки дисертаційної роботи можуть бути використані для створення методичного забезпечення навчальних планів ІППК та ФПК.

При цьому отримані наступні результати:

1. Розроблено математичний опис технології передрейсової підготовки як складної багатокритеріальної моделі, що визначається на множині станів технічної ергатичної системи та враховує фактори готовності до рейсу локомотива на підставі діагностичної інформації, надійність локомотивної бригади на підставі інформації про психофізіологічний стан і кваліфікаційні ознаки, а також коефіцієнт складності рейсу.
2. Розроблено математичну модель та алгоритм управління технічним станом обладнання локомотива, причому цільова функція оптимізації циклу обслуговування будується з використанням критерію мінімуму витрат чи максимуму безвідмовної роботи, пов'язаних з пробігом до відповідних видів обслуговування. Доведено, що цільова функція залежить від ряду випадкових величин: швидкості зміни параметрів технічного стану, похибки їх вимірювання, фактичних пробігів до поточного обслуговування, а також від витрат на проведення діагностування.
3. Доопрацьовано метод кількісного визначення показника ефективності функціонування складної технічної системи, якою є процес передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад. Показано, що при відомих ймовірностях появи певних видів обслуговування локомотивів можливо отримати числове значення показника ефективності функціонування системи, яке для умов опорних локомотивних депо складає 0,82.
4. Вперше розроблено метод вирішення задачі аналітичного синтезу критерію якості роботи системи “машиніст-локомотив”. В результаті було отримано аналітичний вираз для множин псевдооптимальних процесів керування станом локомотива під час передрейсової підготовки.
5. Показано можливість застосування методів евристичного моделювання та експертної оцінки для отримання узагальненого критерію якості роботи системи “машиніст-локомотив”, який полягає у тому, що враховуються часткові критерії функціонування технічної частини ергатичної системи та їх вагові коефіцієнти.
6. Розроблено математичну модель процесу передрейсової підготовки як одноканальної системи масового обслуговування з неоднорідними потоками та визначено вплив неоднорідності потоків обслуговування на поведінку системи. Виявлено, що

неоднорідність потоків для стійкого функціонування системи повинна бути у межах 0,8-1,5.

7. Здійснено аналіз інформаційних потоків, що виникають у процесі передрейсової підготовки локомотива і локомотивної бригади і вперше розроблено розгорнуту модель експлуатаційного процесу на рівні локомотивного депо з елементами передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад.
8. Для технічної ергатичної системи “машиніст-локомотив” отримано залежність ймовірності своєчасного та правильного обслуговування від ряду факторів, пов’язаних з технічним станом локомотива, оснащеністю пункту обслуговування, кваліфікацією обслуговуючого персоналу та завантаженістю локомотивної бригади. Середнє значення цієї ймовірності досягає 0,938 в умовах реальної експлуатації.
9. Вперше запропоновано застосування узагальненої робочої характеристики для оцінки експлуатаційної надійності машиністів локомотивів з використанням другого методу Ляпунова для знаходження області стійких рішень з управління складним об’єктом, виявлено, що експлуатаційна надійність машиністів характеризується показниками безпомилковості, готовності, відновлюваності та своєчасності.
10. Вперше запропоновано метод розрахунку показника передрейсової підготовки локомотива і локомотивної бригади за критеріями швидкодії, безпомилковості, імовірності безвідмовної роботи, точності роботи та з врахуванням показника напруженості діяльності і коефіцієнта складності ділянки. Отримано графічні залежності показника передрейсової підготовки від коефіцієнта складності ділянки, показника швидкодії машиніста та напруженості роботи.
11. Запропоновано метод визначення коефіцієнта складності ділянок на підставі досліджень експлуатації локомотивів у різних зональних умовах.
12. Обґрунтовані основні напрямки вдосконалення системи передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад при впровадженні сучасних засобів діагностики, моніторингу і обробки інформації.
13. Показано, що для оцінки надійності транспортної системи, яка містить ланку “машиніст-локомотив” можливо застосувати імовірнісні параметри, що характеризують безпомилковість та вчасність дій машиніста, зміну його стану у часі та можливість контролю з боку помічника машиніста.
14. На базі моделі марковських спіральних процесів з неперервним часом і множиною дискретних станів запропонована модель керування інформаційним потоком системи локомотив-машиніст. Розраховано коефіцієнт інформаційного навантаження машиніста у процесі передрейсової підготовки для локомотивів існуючих серій, який складає 0,6 та не перевищує обумовлений норматив 0,75. Це слід враховувати при формуванні технології передрейсової підготовки для ТРС нового покоління, на якому інформаційне навантаження машиніста зростатиме.

Основні положення дисертації опубліковано в наступних роботах:

1. Тартаковський Е.Д., Пузир В.Г. Технологія передрейсового контролю локомотивів і локомотивних бригад // Зб.наук.праць: – Харків: УкрДАЗТ, 2002. - Вип.49. - С. 75-79.
2. Пузир В.Г., Ремез І.В. Вибір аналітичної моделі для оцінювання якості управління локомотивом // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 64. - С. 164-171.
3. Пузир В.Г. Організація передрейсового контролю локомотивних бригад на дільницях обертання з підвищеною швидкістю// Науково-техн. зб./Комунальне господарство



- міст: Серія “Архітектура і технічні науки”.- Вип.38. -К.: Техніка. - С.301-305.
4. Пузир В.Г. Вдосконалення системи експлуатації локомотивів на підставі інформації про їх фактичний технічний стан // Міжвуз. зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2001. - Вип.46. -С.46-49.
  5. Пузир В.Г., Ремез І.В. Вдосконалення підготовки машиністів МВРС із застосуванням тренажерного комплексу // Зб.наук.праць КУЕТТ: Серія “Транспортні системи і технології”.- Вип.3. - К.:КУЕТТ, 2003. - С.108-112.
  6. Пузир В.Г., Ремез І.В. Оцінка надійності операторів людино-машинних комплексів залізничного транспорту // Науково-техн. зб./Комунальне господарство міст: Серія “Архітектура і технічні науки”. - Вип.47. - К.:Техніка. - С. 219-223.
  7. Пузир В.Г. Моделювання процесів передрейсової підготовки локомотивів і локомотивних бригад // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – Вип. 65. - С. 65-72.
  8. Пузир В.Г. Методика розрахунку надійності технічної ергатичної системи машиніст-локомотив // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – Вип. 66. - С. 92-98.
  9. Пузир В.Г., Крашенінін О.С., Крамчанін І.Г., Фалендиш А.П. Організація технологічних процесів ремонту ТРС із застосуванням засобів діагностування // Зб. наук. праць. –Харків: УкрДАЗТ, 2004. - Вип.57.-С.31-34.
  10. Пузир В.Г. Оцінка рівня інформаційного навантаження машиніста локомотива // Зб. наук. праць/ УкрДАЗТ, 2003. –Вип.54. – С.116-121
  11. Пузир В.Г., Крашенінін О.С., Крамчанін І.Г. Автоматизована розробка технологічних процесів обслуговування тепловозів за допомогою ПЕОМ // Міжвуз. зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2000. - Вип.41. - С.42-47.
  12. Пузир В.Г. Моделювання надійності роботи локомотивних бригад // Зб. наук. праць/ ХарДАЗТ, 2001. –Вип.45. – С.19-22.
  13. Брусенцов В.Г., Пузир В.Г., Гончаров А.В. Контроль надійності залізничних операторів // Зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2001. –Вип.47. – С.34-40.
  14. Гартаковський Е.Д., Пузир В.Г., Крамчанін І.Г. Підвищення надійності ТРС з використанням нових інформаційних технологій // Зб.наук.праць. – Харків: ХарДАЗТ, 2000. - Вип.44. - С.39-43.
  15. Пузир В.Г. Основні принципи інформатизації управління експлуатацією і ремонтом рухомого складу // Міжвуз. зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 1998. – Вип.34. – С.70-71.
  16. Пузир В.Г. Технологічний опис інформаційних технологій локомотивного депо // Міжвуз. зб. наук. праць/ ХарДАЗТ, 1998. –Вип.33. – С.86-96.
  17. Пузир В.Г. Інформаційні технології у локомотивному депо // Міжвуз. зб. наук. праць. – Харків: ХарДАЗТ, 1997. – Вип.31. – С.34-36.
  18. Пузир В.Г. Надійність оператора і системи “машиніст-локомотив” // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.-Харків.-1999. - №3. -С.35-37.
  19. Пузир В.Г. Інформаційна модель процесу керування локомотивом // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.-Харків.-1998. - №1. -С.22-25.
  20. Пузырь В.Г. Информационное обеспечение системы управления локомотивным хозяйством Укрзалізниці // Межвуз. сб. научн. тр. - Харьков: ХарГАЖТ, 1997. –

Вып.29. – С.15-17.

21. Пузырь В.Г. Моделирование системы информационного обслуживания локомотивов в депо с проведением диагностических операций. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте.-Харьков:ХарГАЗТ.-1997. - №2. -С.15-16.  
Додатково матеріали дисертаційної роботи відображені в працях
22. Тартаковський Е.Д, Устенко О.В, Крашенінін О.С, Пузир В.Г. Автоматизовані робочі місця (АРМ) в локомотивних та вагонних депо: Частина 1. Інформаційні технології в локомотивному господарстві: навчальний посібник. – Харків: ХарДАЗТ, 2002. – 120 с.
23. Пузир В.Г. Вибір параметрів ефективності передрейсового обслуговування локомотивів // Програма и тезиси докладов 31-ой научно-технич.конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХарГАГХ. Часть 2. -Харьков. - 2002. - С.20.
24. Пузырь В.Г. Совершенствование технологии передрейсовой подготовки локомотивов и локомотивных бригад//Труды третьей научно-практической конференции “Безопасность движения поездов”. - Москва: МИИТ.- 2002. - С.16-17.
25. Пузир В.Г. Наукові основи експлуатації та передрейсової підготовки локомотивів за технічним станом//Тези допов. 63-ї наук.-техн.конф. ХарДАЗТ і фахівців залізниць.-Харків. - 2001. - С.104.
26. Тартаковский Э.Д., Устенко А.В., Пузырь В.Г. Основы автоматизации технического обслуживания, диагностирования и ремонта локомотивов: Учебн. пособие. - ч.III. – Харьков: ХИИТ, 1992. - 74 с.

#### Анотація

Пузир В.Г. Наукові основи удосконалення технології передрейсової підготовки локомотивів та локомотивних бригад. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальностей 05.22.07- рухомий склад залізниць та тяга поїздів та 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту; Українська державна академія залізничного транспорту; Харків, 2005.

Дисертація присвячена прогнозуванню експлуатаційної надійності локомотивів та локомотивних бригад у процесі передрейсової підготовки. Передрейсова підготовка локомотивів і локомотивних бригад – специфічний вид технічного обслуговування, що відрізняється від існуючих та здійснюється одночасно з ними, передбачає здійснення певних операцій контролю і діагностики технічного стану ТРС та психофізіологічного стану локомотивної бригади. Передбачає наявність спеціального обладнання, пристосувань та інструменту, забезпеченість технологічним запасом деталей, приладів та матеріалів, відповідну кваліфікацію персоналу.

У роботі на підставі аналізу технології обслуговування локомотивів та процесів взаємодії з ними людини-оператора розроблено методи оцінки якості підготовки локомотивів і локомотивних бригад до рейсу.

Визначено ефективність функціонування процесу передрейсової підготовки як системи масового обслуговування з неоднорідними потоками заявок та обслуговувань. Розроблено інформаційну модель передрейсової підготовки та здійснено оцінку інформаційного навантаження машиніста. Запропоновано комплексний показник передрейсової підготовки та визначений вплив на нього психофізіологічних параметрів машиніста та технічного стану локомотива.

Ключові слова: технологія, локомотив, машиніст, технічне обслуговування, людина-оператор, ергатична система, передрейсова підготовка, діагностика.

Annotation

Puzyr V.G. Scientific Basics of Improving the Technology of Pre-route Preparation of Locomotives and Locomotive Brigades – Manuscript.

Thesis for obtaining the academic degree of Doctor of Technical Sciences in specializations 05.22.07 – rolling stock of the railways and traction of the trains and 05.22.20 – operation and repair of the means of transport; Ukrainian state academy of railway transportation; Kharkov, 2005.

The thesis covers the topics of prognosis of the operation reliability of locomotives and locomotive brigades in the process of pre-route preparations. Pre-route preparation of locomotives and locomotive brigades is a specific type of servicing, which is different from the ones existing now and is performed at the same time with them; it presupposes performing certain operations of control and diagnostics of the technical condition of rolling-stock and psycho-physical state of the locomotive brigade. It anticipates the availability of specialized equipment, devices and tools, enough stock of components and materials and the proper qualification of the personnel.

The thesis gives analysis of the technology of locomotives servicing and the processes of cooperation with human-operator, on the basis of which the methods of evaluating the quality of preparation of locomotives and locomotive brigades for the trip have been developed.

The effectiveness of the process of pre-route preparation as a system of mass servicing with varied flows of claims and services has been determined. The information model of pre-route preparation has been developed and the information load of the engine driver has been evaluated. A complex index of the pre-route preparation has been offered; the influence of psycho-physical state of the engine driver and the technical condition of the locomotive on the preparation index has been determined.

Key words: technology, locomotive, engine driver, technical servicing, human-operator, ergative system, pre-route preparation, diagnostics.

#### Аннотация

Пузырь В.Г. Научные основы усовершенствования технологии предрейсовой подготовки локомотивов и локомотивных бригад. - Рукопись

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.22.07- подвижной состав и тяга поездов и 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта; Украинская государственная академия железнодорожного транспорта; Харьков, 2005.

Диссертация посвящена прогнозированию эксплуатационной надежности локомотивов и локомотивных бригад в процессе предрейсовой подготовки. Предрейсовая подготовка локомотивов и локомотивных бригад – специфический вид технического обслуживания, отличающийся от существующих и осуществляющийся одновременно с ними, предусматривает осуществление ряда операций контроля и диагностики технического состояния ТПС и психофизиологического состояния локомотивной бригады. Предусматривает наличие специального оборудования, приспособлений и инструмента, обеспеченность технологическим запасом деталей, приборов и материалов, соответствующую квалификацию персонала.

В работе на основании анализа технологии обслуживания локомотивов и процессов взаимодействия с ними человека-оператора разработаны методы оценки качества подготовки локомотивов и локомотивных бригад к рейсу.

Определена эффективность функционирования процесса предрейсовой подготовки как системы массового обслуживания с неоднородными потоками заявок и обслуживаний. Определена допустимая неравномерность потоков обслуживания для процесса предрейсовой подготовки.

Предложено аналитическое описание технологии предрейсовой подготовки как сложной многокритериальной модели, определенной на множестве состояний

технической эргатической системы и учитывающей факторы готовности к рейсу локомотива по диагностической информации, надежность локомотивной бригады по информации о ее психофизиологическом состоянии и квалификационным признакам, а также коэффициент сложности рейса.

Показана возможность применения методов эвристического моделирования и экспертных оценок для получения обобщенного критерия качества работы системы “машинист-локомотив”, заключающийся в том, что учитываются частичные критерии функционирования технической части эргатической системы и их весовые коэффициенты.

Осуществлен анализ информационных потоков, возникающих в процессе предрейсовой подготовки локомотива и локомотивной бригады и разработана развернутая информационная модель эксплуатационного процесса на уровне локомотивного депо.

Предложены зависимости эффективности работы тягового подвижного состава от характеристик деятельности основного звена управления в системе “машинист-локомотив”.

Для технической эргатической системы “машинист-локомотив” получена зависимость вероятности своевременного и правильного обслуживания от ряда факторов, связанных с техническим состоянием локомотива, оснащенностью пункта технического обслуживания, квалификацией обслуживающего персонала и загрузкой локомотивной бригады. Среднее значение для ряда базовых депо достигает 0,938 в условиях реальной эксплуатации.

Предложено применение обобщенной рабочей характеристики для оценки эксплуатационной надежности машинистов локомотивов с использованием второго метода Ляпунова для нахождения области устойчивых решений по управлению сложным объектом. При этом эксплуатационная надежность машинистов характеризуется показателями безошибочности, готовности, восстанавливаемости, своевременности и восстанавливаемости.

Предложен метод расчета показателя предрейсовой готовности локомотива и локомотивной бригады по критериям быстродействия, безошибочности, вероятности безотказной работы, точности работы и с учетом напряженности деятельности и коэффициента сложности участка.

Рассмотрены показатели эффективности работы машиниста локомотива с учетом проверки появления операционной усталости, позволяющие количественно оценить его деятельность.

Разработана информационная модель предрейсовой подготовки и осуществлена оценка информационной нагрузки машиниста. Предложен комплексный показатель предрейсовой подготовки и определено влияние на него психофизиологических параметров машиниста и технического состояния локомотива.

Проведены исследования эксплуатации локомотивов в разных зональных условиях и предложена методика определения сложности участков.

Обоснованы основные направления совершенствования системы предрейсовой подготовки локомотивов и локомотивных бригад при внедрении современных средств диагностики, мониторинга и обработки информации.

Ключевые слова: технология, локомотив, машинист, техническое обслуживание, человек-оператор, эргатическая система, предрейсовая подготовка, диагностика.