

**Харківська державна академія залізничного транспорту**

**Бабанін Олександр Борисович**

**УДК 629.424. 1.004.**

**Наукові основи вдосконалення технології  
контролю, діагностування та матеріально-технічного  
забезпечення при технічному обслуговуванні  
локомотивів**

05.22.07 – Рухомий склад залізниць та тяга поїздів

**АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук**

**Харків - 2001**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківській державній академії залізничного транспорту на кафедрі “Експлуатація та ремонт рухомого складу”, Міністерство транспорту України.

### **Науковий консультант**

Доктор технічних наук, професор,  
**Тартаковський Едуард Давидович**, Харківська державна академія залізничного транспорту, завідувач кафедри “Експлуатація та ремонт рухомого складу”.

### **Офіційні опоненти**

Доктор технічних наук, професор  
**Кузнєцов Тимофій Федорович**, Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, професор кафедри “Локомотиви”;

Доктор технічних наук, професор  
**Коссов Євген Євгенович**, Всеросійський науково-дослідний інститут залізничного транспорту, завідувач відділом “Тепловози та локомотивне господарство”;

Доктор технічних наук, професор  
**Кудряш Анатолій Петрович**, Інститут проблем машинобудування НАН України, завідувач відділом.

### **Провідна установа**

Східно-український національний університет, кафедра “Залізничний транспорт”, Міністерство освіти і науки України, м. Луганськ.

Захист відбудеться “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2001р.  
о \_\_\_\_\_ годині в ауд. \_\_\_\_\_ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Харківській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту

Автореферат розісланий “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2001р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Запара В. М.

## ВСТУП

Підвищення ефективності використання тягового рухомого складу (ТРС) на залізницях України в умовах нестабільності обсягів перевезень і фізичного старіння локомотивного парку, можливо, у першу чергу, за рахунок удосконалення його утримання.

Особливо це відноситься до питань матеріально-технічного забезпечення (МТЗ) і контролю технічного стану, які істотно впливають на технологію проведення технічного обслуговування (ТО) локомотивів. Планово-попереджувальна система ТО і поточного ремонту (ПР), яка діяла раніше, застосовувала чітке централізоване забезпечення матеріальними ресурсами. Після переходу до ринкових відносин централізація МТЗ, як така, була ліквідована, але планова система утримання локомотивів була збережена в колишніх формах її існування. Таке положення викликало диспропорції в організації і значне зростання витрат на утримання локомотивів в працездатному і справному стані. Унаслідок цього, замість ритмічного виконання планових технологічних операцій ТО обслуговуючому персоналу приходиться займатися придбанням запасних частин, палива і матеріалів, організувати поповнення і комплектацію пунктів технічного обслуговування (ПТО), розбирати та оцінювати конфліктні ситуації, застосовувати нові методи і засоби контролю, виконувати незаплановані для ТО ремонтні роботи і вирішувати власне кажучи нові задачі в сучасних умовах. Разом з цим, оскільки на найближчі 5-10 років перевезення будуть забезпечуватися існуючим ТРС, для підтримки працездатності локомотивів необхідне також широке впровадження нових прогресивних методів контролю, діагностування і одержання з допомогою цього достовірної інформації про технічний стан для прийняття рішень по коректуванню переліку операцій при проведенні ТО.

Виходячи з цього, виникає необхідність вирішення науково-технічної проблеми - удосконалення технології контролю, діагностування і МТЗ при ТО локомотивів. Технологія проведення ТО локомотивів у такій постановці не розглядалася, що не дозволяло досягати очікуваної ефективності від впровадження окремих заходів.

Актуальність теми.

В умовах ринкової економіки найважливішою задачею підвищення продуктивності залізничного транспорту є впровадження прогресивних технологій, що забезпечують високий рівень його технічного стану. Тому, для організації утримання локомотивів в цей час вже недостатньо існуючих традиційних заходів, які функціонують на базі застарілих технологій і методів.

Основні недоліки у цьому напрямку можна визначити наступними об'єктивними причинами:

- відсутність єдиних комплексних наукових методів і організаційних засобів для підтримки ТРС у працездатному і справному стані;

- значні втрати (до 43%) на виконання змащувальних, кріпильних і контрольно-діагностичних операцій при проведенні ТО через незадовільну організацію МТЗ;

- відсутність інформаційного забезпечення для планування МТЗ на підставі проведення контролю і діагностування вузлів локомотивів;

- відсутність гнучких розрахункових методів по раціональному визначенню необхідної кількості матеріальних ресурсів в локомотивному господарстві;

- недостатнє супроводження ТО локомотивів методами і засобами контролю і діагностування для зниження експлуатаційних витрат в умовах конкуренції ринку транспортних послуг;

- відсутність методів оцінки і прийняття рішень обслуговуючим персоналом у конфліктних ситуаціях, що виникають при проведенні ТО;

- недосконалість інформаційного забезпечення моніторингу технічного стану для відстеження та прогнозування різних аварійних ситуацій.

До дійсного часу в нашій країні і за кордоном виконаний великий обсяг наукових досліджень і практичних розробок у напрямку удосконалення систем ТО ТРС. Разом з тим, в них не знайшли належною мірою питання взаємозв'язку ТО з організацією контролю, діагностування і МТЗ. Це позначається на тому, що при існуючій системі нормативні витрати часу і праці дуже істотні, а якість функціонування і надійність ТРС не повною мірою відповідає поставленим вимогам.

Таким чином, впровадження в практику нових технологій, пов'язаних з контролем, діагностуванням та МТЗ, які створені на основі теоретичних розробок даної дисертації, дозволяє кваліфікувати її як актуальну роботу, спрямовану на розв'язання важливої науково-технічної проблеми підвищення якості технічного обслуговування локомотивів.

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

Дисертаційна робота виконана на кафедрі "Експлуатація та ремонт рухомого складу" (ЕРРС) Харківської державної академії залізничного транспорту в період з 1993 по 2001 рр. відповідно до планів науково-дослідних робіт академії, що проводяться в рамках галузевих програм Міністерства транспорту України і Укрзалізниці

з тем: “Совершенствование технологии обслуживания и ремонта локомотивов путем внедрения прогрессивных средств контроля” (№ГР0194U001109, 1993р., 123с.); “Вдосконалення технології обслуговування локомотивів в депо Дарниця” (№ГР0194U009107, 1994р., 96с.); “Разработка и изготовление автоматизированной системы сбора и обработки информации о работе оборудования ТПС” (№ГР0195U011606, 1995-1996рр., 147с.); “Научное обоснование новой системы сервисного обслуживания и ремонта дизель и электропоездов” (№ГР0195U013377, 1995-1997рр., 96с.); “Наукове обґрунтування реалізації концепції розвитку систем діагностування в локомотивному господарстві залізниць України” (№ДР0101U002465, 2000-2001рр., 88с.).

Матеріали дисертації також використані при розробці “Концепції створення систем діагностики в локомотивному господарстві залізниць України”, що затверджена першим заступником Міністра транспорту України - Генеральним директором Укрзалізниці 15.02.1998р.

Мета і задачі дослідження.

Метою роботи є вирішення наукової проблеми - вдосконалення технології контролю, діагностування і МТЗ локомотивів на основі одержання аналітичними та експериментальними методами достовірної інформації про технічний стан для прийняття науково-обґрунтованих рішень по коректуванню технологічного процесу ТО локомотивів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розглянути систему технічного утримання ТРС з оцінкою факторів, що впливають на її функціонування;
- формалізувати задачу поповнення запасів на ПТО локомотивів і запропонувати методику визначення оптимального розміру запасних частин і пристосувань (ЗП);
- обстежити характер різних конфліктних ситуацій, що виникають при організації МТЗ і запропонувати оціночні критерії прийняття рішень;
- отримати оцінки діагностичної цінності інформації при проведенні ТО локомотивів і оцінити їх вплив на організацію МТЗ;
- провести аналіз і запропонувати методичне забезпечення точності й оперативності контролю для різних виробничих ситуацій при проведенні ТО;
- провести дослідження і формалізувати математичний опис технологічного процесу ТО з організацією контролю, діагностування і МТЗ;

- виконати дослідження і формалізувати визначення оптимальної дислокації пунктів комплексного діагностування (ПКД) у межах залізниці на підставі техніко-економічних показників парку локомотивів;

- розробити наукові основи технології функціонування пересувних і стаціонарних пунктів ТО і діагностування тепловозів;

- розробити теоретичні основи по організації моніторингу локомотивного парку;

- розробити концепцію, що узагальнює і розвиває методи контролю, діагностування і МТЗ при проведенні ТО локомотивів.

Об'єктом досліджень є система утримання локомотивного парку, що вимагає вирішення досить широкого кола задач теоретичного, практичного й організаційного плану.

Предметом досліджень є розрахунки і моделювання характеристик системи технічного утримання локомотивів.

Виконані в дисертаційній роботі дослідження ґрунтуються на теорії ймовірностей, теорії масового обслуговування, математичній статистиці, теорії графів і її застосування в задачах планування і управління, теорії надійності, методу динаміки середніх і математичного програмування.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що вперше розроблена концепція удосконалення технології ТО за рахунок наукового обґрунтування взаємодії МТЗ, контролю і технічної діагностики. Запропонований при цьому комплексний підхід дозволяє коректувати період поповнення і кількісні характеристики ЗІП згідно з обсягом технологічних операцій, а також створює теоретичні і практичні основи для удосконалення ТО локомотивів.

У дисертації отримані наступні наукові результати:

- формалізована задача визначення періодів поповнення і достатності матеріальних ресурсів для ПТО локомотивів;

- досліджений стан МТЗ і синтезовані варіанти забезпечення запасними елементами з виділенням їх структури в локомотивному господарстві залізниць;

- запропоновані багатокрокові процеси прийняття рішень в умовах дефіциту інформації, які реалізовані у семи інформаційних ситуаціях в умовах невизначеності з виділенням оціночних критеріїв при організації МТЗ;

- визначені витрати часу на контроль справності устаткування локомотивів при проведенні ТО і їх вплив на МТЗ;

- досліджені напрямки статистичного контролю, запропоновані стратегії контролю на ТО при різних станах вузлів тепловозів.

Визначені відповідні оцінки статистичного, вибіркового і послідовного контролю. Проведено моделювання і запропоновано визначення граничних значень контролюємих параметрів статистичним і тополого-імовірносним методом;

- досліджена поведінка вузлів ТРС в експлуатації і сформовані алгоритми контролю технічного стану локомотивів на основі імовірнісного критерію, вагових ознак і діагностичної цінності інформації;

- запропонована макромодель, яка описує динаміку впливання МТЗ, контролю і діагностування на технологію ТО, в основу якої покладено регресійні залежності з оцінкою їх працездатності відповідно до помилок;

- для різних функціональних систем локомотивів з урахуванням їх специфічності запропоновані алгоритми діагностування;

- розроблені наукові основи технології функціонування пересувних і стаціонарних пунктів ТО і діагностування на підставі дослідження операцій (метод динаміки середніх) і вирішення мережної задачі (задача про комівояжера);

- створені теоретичні передумови по організації моніторингу з допомогою внутрішніх і дистанційних засобів контролю технічного стану вузлів ТРС;

- розроблена концепція, що узагальнює і розвиває взаємозв'язок методів контролю і діагностування з МТЗ при технічному обслуговуванні ТРС.

Практичне значення одержаних результатів.

Практична цінність виконаних теоретичних і експериментальних досліджень полягає у вирішенні наступних важливих задач:

- створений програмний комплекс для формування раціональної системи МТЗ при ТО локомотивів;

- визначені чисельні значення і закономірності зміни структури ЗП для формування запасів на ПТО і пересувних станцій ТО і діагностування локомотивів;

- розроблені наукові основи організації функціонування стаціонарних і пересувних пунктів ТО і діагностування, складання для них раціональних маршрутів та пропозицій по оснащенню їх необхідними матеріальними ресурсами і сучасними засобами експрес-контролю технічного стану вузлів локомотивів;

- розроблені технічні вимоги на автоматизовану систему збирання та обробки інформації для визначення режимів роботи ТРС;

- розроблені і впроваджені в технологію ТО алгоритми контролю і діагностування, що дозволяють визначати інформативні параметри,

які однозначно характеризують технічний стан обслуговуваних локомотивів та їхніх вузлів;

- розроблені алгоритми і програми для ПЕОМ по коректуванню обсягів технологічних операцій при ТО з урахуванням технічного стану локомотивів.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на Південній і Південно-Західній залізницях, де стосовно до умов опорних локомотивних депо створені стаціонарні ПКД і пересувні станції ТО та діагностування різних серій локомотивів.

Розроблені методики і програми використовуються в навчальному процесі ХарДАЗТ у дисциплінах “Основи надійності і технічної діагностики”, “Експлуатація локомотивів і локомотивне господарство”, у курсовому і дипломному проектуванні, на ФПК і при підготовці магістрів у ІППК.

Особистий внесок здобувача.

У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить:

у роботі [22] – методика розрахунку періодичності поповнення матеріальних запасів для виконання ТО і варіанти стратегій для її реалізації;

у роботах [6,7,25] - теоретичні основи удосконалення технології ТО локомотивів;

у роботах [15,16,20] - математичні моделі інформаційних ситуацій при організації матеріально-технічного забезпечення ТО;

у роботах [4,26] - методичне забезпечення регламенту проведення контрольних-діагностичних операцій на ТО для різних виробничих ситуацій;

у роботах [1,11,18,28] – методичні оцінки діагностичної інформації при проведенні ТО і їхнє впливання на організацію МТЗ;

у роботах [2,19] – методичне забезпечення взаємозаміни електронних деталей для імпортованих локомотивів;

у роботі [21] - методика визначення пропускної здатності ПКД методом динаміки середніх;

у роботах [9,27,] – методика опису технологічного процесу ТО за допомогою регресійних залежностей і визначення значимості факторів, що впливають на якість проведення ТО;

у роботах [8,10,12,13,14,17,23,24] – запропоновані теоретичні основи технології ТО з використанням моніторингу і мікропроцесорної техніки.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися і схвалені на:

VIII Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми розвитку рейкового транспорту” (Крим, Алушта, 1998р.);



ІХ Міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми розвитку рейкового транспорту” (Крим, Алушта, 1999р.);

засіданнях науково-технічної комісії з розвитку систем діагностування в локомотивному господарстві Укрзалізниці (Київ, 1998р.; Харків, 1999р.; Київ, 2000р.);

науково-технічній конференції “Проблеми впровадження технічної діагностики вузлів і деталей рухомого складу” (Санкт-Петербург, 1999р.);

науково-технічних конференціях кафедр ХарДАЗТ і працівників підприємств залізничного транспорту в 1994-2000р.р.

Цілковито дисертаційна робота доповідалася на розширених засіданнях кафедри “Експлуатація та ремонт рухомого складу” ХарДАЗТ у 1999÷2000р.р. за участю членів спеціалізованої вченої ради.

Публікації.

Матеріали дисертації опубліковані у 30 наукових працях (в одній монографії, одному навчальному посібнику, 20 наукових статтях, двох авторських посвідченнях на винаходи, 1 депонованій статті і 5 тезах науково-технічних конференцій) у виданнях затверджених ВАК України. Основні положення дисертації ввійшли до концепції створення систем діагностики в локомотивному господарстві залізниць України.

Структура й обсяг дисертації.

Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновку і містить 288 сторінок друкованого тексту, 53 ілюстрації, 28 таблиць, списку використаних джерел, що включають 364 найменування і 9 додатків.

## **ЗМІСТ РОБОТИ**

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі дослідження.

Перший розділ присвячений розгляду стратегій і розвитку системи ТО локомотивів. Розкрита тенденція і шляхи удосконалення системи ТО і впливу на неї факторів, таких як МТЗ, контроль і діагностування. У роботі проведений огляд досліджень по удосконаленню системи технічного утримування ТРС на залізничному транспорті. Значний внесок у розвиток конструкції, теорії надійності, діагностики та оптимізації системи утримання локомотивів внесли роботи Б.Є. Боднаря, В.О. Браташа, Т.В. Бутько, О.І. Володіна, В.Ф. Головка, О.Л. Голубенко, О.В. Горського, В.М. Зайончковського, І.П. Ісаєва, В.І. Кисельова, М.Л. Коротенко, Є.Є. Коссова, А.П. Кудряша, Т.Ф. Кузнецова, В.Д. Кузьмича, Е.С. Павловича, О.Б. Підшивалова, Ю.Є. Просвірова, Т.В. Ставрова, В.В.

Стрекопитова, Е.Д. Тартаковського, Т.О. Тибілова, В.П. Ткаченка, В.П. Феоктистова, В.О. Четвергова та ін. Розглянуті дослідження, виконані в СНД і в країнах далекого зарубіжжя щодо наукового обґрунтування і удосконалення системи утримання ТРС.

Досліджені загальні напрямки розвитку системи технічного обслуговування на закордонних залізницях. Встановлено, що підтримка високої експлуатаційної надійності рухомого складу, особливо для перевезення пасажирів, неможлива без комплексного впровадження сервісного обслуговування, систем контролю і діагностики. Згідно розрахунків проведених німецькими фахівцями спільне використання сервісу і діагностики дозволяє зменшити на 15-17% витрати на ТО рухомого складу. У дисертації також проведений аналіз систем технічного і сервісного обслуговування на автомобільному й авіаційному транспорті, на морському і річковому флоті.

Проведені дослідження показали, що в даний час на Україні проблема вдосконалення системи утримання локомотивів вирішується недостатньо. Із сукупності причин виділені такі, як старіння локомотивного парку і недостатнє його відновлення, відсутність централізованого МТЗ, неефективне використання і розвиток методів контролю і діагностування. У роботі відзначено, що при раніше існуючій планово-попереджувачій системі обслуговування локомотивів існувало чітке централізоване забезпечення матеріальними ресурсами. Однак після переходу до ринкових відносин централізоване постачання матеріальними ресурсами було ліквідовано, а планова система ТО залишилась в колишніх формах її існування. Це не могло не викликати значних труднощів і витрат на утримання локомотивного парку в працездатному і справному стані. Обстеження циклічності операцій виконуваних на ТО локомотивів дозволило виділити п'ять характерних робіт, з яких значну частину займають контрольні-діагностичні і регульовальні (до 37%), а також роботи щодо заміни окремих деталей локомотивів (24%). Зроблені висновки, що організація МТЗ і контроль технічного стану локомотивів є дуже актуальним питанням.

В другому розділі виконана формалізація задач МТЗ при проведенні ТО локомотивів. Аналіз показав, що при переході до ринкових відносин питанням щодо розрахунків постачання матеріалів, запасних частин і сировини приділяється недостатня увага. Відсутній єдиний підхід до застосування методів і моделей у різних ситуаціях. Це можна пояснити наявністю різних сфер застосування розрахункових методів (проектування, експлуатація, обслуговування, ремонт, планування і розподіл), використання в

розрахунках різноманітних розділів аналітичного апарату (теорії відновлення, теорії надійності, теорії прогнозування і ін.), залучення різних джерел інформації та ін. Для надійної експлуатації сучасних локомотивів потрібне періодичне поповнення запасів матеріалів, сировини і запасних частин. У той же час, різноманіття експлуатаційних факторів, а також задачі, що вирішує сучасний ТРС, призводять до того, що терміни поповнення ресурсів навіть однотипних локомотивів, які експлуатуються у подібних умовах, є випадковими величинами.

На підставі цього в роботі запропонований і формалізований метод визначення достатності поповнення матеріальними ресурсами ПТО, а також їх витрату на розрахунок мий період. Покладено, що зовнішні джерела постачають ПТО двома видами ресурсів: паливом і комплектом запасних частин. Для початку умовно прийнято, що запаси ПТО складають:  $m_1^0$  комплектів запасних частин і  $m_2^0$  палива. Для поповнення цих запасів локомотиви періодично прибувають на ПТО. При цьому запас палива і комплект запасних частин поповнюється зовні в залежності від його фактичної витрати. При неможливості поповнити запас палива або поновити комплект запасних частин експлуатація локомотива припиняється. Методика ставить своєю метою визначити періодичність поповнення запасів для ПТО, при якій із заданою імовірністю  $p$  забезпечується нормальне функціонування усього парка локомотивів.

При цьому ПТО, що забезпечує парк однотипних локомотивів розглядається як система, у якій заявки на поповнення задовольняються дискретно у випадкові моменти часу  $t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_n$  комплексним постачанням одного комплекту запасних частин і деякої випадкової кількості палива,  $N_{T_i}$  тобто  $(1, N_{T_1}), (1, N_{T_2}), (1, N_{T_3}), \dots, (1, N_{T_n})$ . Сумарні обсяги постачань до моменту часу  $t$  складуть

$$m_1(t) = 1, 2, \dots; \quad m_2(t) = \sum_{i=1}^{m_1(t)} N_{T_i}(t) \quad (1)$$

Вичерпними характеристиками процесу функціонування розглянутої системи є математичні очікування  $\tilde{T}_1, \tilde{T}_2$ , дисперсії  $\sigma_1^2, \sigma_2^2$  інтервалів між постачаннями  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots$  та розміри самих постачань  $N_{T_1}, N_{T_2}, \dots$ . Якщо припустити, що запаси зовнішнього джерела досить великі і здатні забезпечити необмежену кількість постачань, то функцію розподілу сумарного обсягу постачань до будь-якого моменту часу  $t$  можна досліджувати, використовуючи асимптотичні методи теорії відновлення. При цьому незалежно від виду закону розподілу випадкових величин  $\Delta t$  і  $N_{T_i}$  сумарні постачання (1)

утворюють систему двох асимптотичних нормальних випадкових величин. Центри розсіювання  $Mm_1(t), Mm_2(t)$  і дисперсії  $Dm_1(t), Dm_2(t)$  цих законів можна виразити через характеристики процесу функціонування системи  $T_1, T_2, \sigma_1^2, \sigma_2^2$  у вигляді лінійних функцій календарного часу, а коефіцієнт кореляції між постачаннями від часу не залежить. Тоді імовірність того, що зовнішнє джерело постачання забезпечить нормальне функціонування ПТО протягом часу  $t$ , запишеться як

$$P(t) = [m_1^0 \geq m_1(t); m_2^0 \geq m_2(t)] . \quad (2)$$

Враховуючи прийняті позначення, імовірність поповнення ресурсів можна виразити через функцію Лапласа

$$P(t) = \left\{ \frac{1}{2} + \Phi_0 \left[ \frac{(m_1^0 - Mm_1(t))\text{Cos}\alpha + (m_2^0 - Mm_2(t))\text{Sin}\alpha}{\sqrt{Dm_1(t)\text{Cos}^2\alpha + r_{m_1 m_2} \text{Sin}2\alpha \sqrt{Dm_1(t)Dm_2(t) + Dm_2(t)\text{Sin}^2\alpha}}} \right] \right\} \times \quad (3)$$

$$\times \left\{ \frac{1}{2} + \Phi_0 \left[ \frac{-(m_1^0 - Mm_1(t))\text{Sin}\alpha + (m_2^0 - Mm_2(t))\text{Cos}\alpha}{\sqrt{Dm_1(t)\text{Sin}^2\alpha - r_{m_1 m_2} \text{Sin}2\alpha \sqrt{Dm_1(t)Dm_2(t) + Dm_2(t)\text{Cos}^2\alpha}}} \right] \right\}$$

Вихідними даними для обчислення цієї імовірності є значення початкових рівнів запасів джерела  $m_1^0$  і  $m_2^0$ , а також математичні очікування і дисперсії випадкових величин  $\Delta t$  і  $N$ , оцінки, яких за умовою стаціонарності процесу експлуатації визначаються за формулою

$$\tilde{T}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Delta t_i , \quad (4)$$

$$\tilde{T}_2 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k N_i , \quad (5)$$

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (\Delta t_i - \tilde{T}_1)^2 , \quad (6)$$

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (N_i - \tilde{T}_2)^2 . \quad (7)$$

У цих виразах  $k$  являє собою загальне число постачань протягом обраного інтервалу спостережень за функціонуванням ПТО. Будь-яка зміна умов експлуатації порушує сформований характер взаємодії ПТО з обслуговувемим парком локомотивів. Це, у свою чергу, приводить до зміни оцінок функціонування, зміни параметрів функції Лапласа, а також імовірності  $P(t)$ .

За цією методикою, на підставі статистичних даних, зібраних у двох базових локомотивних депо Південної і Південно-Західній залізниць, були визначені періоди поповнення ПТО паливом, мастильними матеріалами, а також комплектами запасних частин для проведення ТО локомотивів (табл. 1 і 2).

Таблиця 1

Розрахункові значення періодів поповнення пального і мастильних матеріалів для забезпечення ТО тепловозів

Назва	Позначення по ГОСТ або ТУ	Розрахунковий період поповнення, діб.
1.Дизельне пальне (літнє)	ГОСТ 10489-86	18
2.Дизельне пальне (зимове)	ГОСТ 10489-86	24
3.Масло авіаційне	МС-20	76
4.Масло компресорне (літнє)	К19	43
5.Масло компресорне (зимове)	К12	43
6.Мастило ЖРО	ТУ 32цт 520-83	94
7.Мастило ЦІАТІМ-221	ГОСТ 9433-80	124
8.Вазелін технічний	ОСТ 38.156-74	156
9.Мастило СТП (літнє)	ТУ 38 2-232-80	35
10.Мастило СТП (зимове)	ТУ 38 2-232-80	35

Таблиця 2

Розрахункові значення періодів поповнення запасних частин для забезпечення ТО тепловозів

Назва	Позначення по ГОСТ або ТУ	Розрахунковий період поповнення, діб.
1.Гальмівні колодки	ТУ 32ЦТ-45378	15
2.Рукав пісочної труби	6ТН 399-003	121
3.Автозчеп	СА-3	96
4.Набивка сальникова	-	44
5.Пароніт листовий	-	63
6.Ел. щітка ЕГ-61	5ТХ.578.073	48
7.Ел. щітка ЕГ-14	5ТХ.578.013	136
8.Ел. лампа СЦ-21	ТУ16-21.14-78	56
9.Ел. лампа Ж80-60	ГОСТ 1181-84	56
10.Ел. лампа СМ-26-25	ТУ16-535.077-87	78
11.Ел. лампа ПЖ50-500	ГОСТ 7874-86	34
12.Рукав кінцевий	-	134

Проведена експериментальна перевірка розрахованої періодичності поповнення ПТО паливом, мастильними матеріалами та запасними частинами і термінами їх витрат у цих локомотивних депо показала достатню адекватність запропонованої моделі (розбіжність між розрахунковими даними та фактичними значеннями не перевищує 5-8%).

У роботі розкриті поняття ЗІП з урахуванням особливостей проведення ТО локомотивів і виділені чотири основних ознаки його класифікації:

- по призначенню (для раптової чи профілактичної заміни);
- безвідмовності в режимі зберігання (залежать або не залежать показники безвідмовності елементів ЗІП від терміну їхнього зберігання);
- ремонтпридатності (відновлювані чи не відновлювані елементи);
- щодо терміну зберігання (елементи ЗІП обмеженого чи необмеженого терміну придатності при їх зберіганні).

Для кількісної оцінки синтезовані варіанти забезпечення запасними елементами різних підрозділів локомотивного господарства, які взаємодіють або приймають особисту участь у процесі виконання ТО. Запропоновані 7 варіантів (рис.1), які включають до себе сполучення наступних складових частин:

- комплект ЗІП-ТО, що являє собою комплект запасних частин, або матеріалів, додаваємий цехам, які виконують ТО для забезпечення їхньої працездатності;
- обмінний фонд ремонтного органа (ОФ-РО), що являє собою комплект запасних елементів, які додаються до ремонтного підрозділу, котрий обслуговує ПТО де виконується ТО;
- комплект ЗІП-РО, який додається до ремонтного органа з метою забезпечення його працездатності.

Для визначення основних характеристик цих варіантів запропонований середній час між відмовою і відновленням локомотива визначати як

$$T_{ож} = t_{об} + t_{зам} + \Delta t_{зип} , \quad (8)$$

де  $t_{об}$  - середній час виявлення і пошуку несправного елемента, який визначається системою діагностування і не залежить від повноти комплекту ЗІП;

$t_{зам}$  - середній час заміни елемента справним (при наявності його в ЗІП), який визначається ремонтпридатністю локомотива або його вузла і не залежить ні від системи діагностування, ні від повноти комплекту ЗІП;

$\Delta t_{зип}$  - середній час затримки між заявкою на запасний елемент та її виконанням, який не залежить від системи діагностування і визначається потоком відмов елементів і повнотою комплекту ЗІП.



Рис. 1. Варіанти забезпечення ТО запасними елементами

По кожному запропонованому варіанту були проведені розрахунки, згідно з якими була експериментально перевірена достатність ЗП для відповідного структурного підрозділу базового локомотивного депо. Вона, відповідно запропонованій моделі, для різних варіантів показала добре погодження з розрахунковими даними (відхилення склало не більше 4-5%).

Для формалізації конфліктних ситуацій, що виникають при організації МТЗ запропонована методика оцінки прийняття раціональних управлінських рішень в умовах, які складаються з різного ступеня невизначеності. При цьому запропонована наступна схема, що припускає наявність наступних складових частин:

- безліч взаємовиключних рішень  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_m\}$  органу управління  $Y$ , одне з яких йому необхідно прийняти;
- безліч взаємовиключних станів  $\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_n\}$  середовища  $S$ , у якому воно може знаходитися. При цьому, у якому конкретному стані воно знаходиться, чи буде знаходитися, органу управління  $Y$  невідомо;
- орган управління  $Y$  описується спеціальним оцінним функціоналом  $F = \{f_{jk}\}$ , що характеризує його "виграш" чи "програш" при виборі рішення  $\varphi_k \in \Phi$ , якщо середовище  $S$  буде знаходитися (чи знаходиться) у стані  $\theta_j \in \Theta$ .

Для опису ситуацій було прийняте сполучення й оцінка наступних факторів

$$\{\Phi, \Theta, F\} \quad (9)$$

де  $\Phi = \{\varphi_1, \dots, \varphi_m\}$  - безліч рішень органа керування  $Y$ ;

$\Theta = \{\theta_1, \dots, \theta_n\}$  - безліч станів середовища  $S$ , що може, знаходитися в одному з них  $\theta_j \in \Theta$ ;

$F = \{f_{jk}\}$  - оцінний функціонал (матриця оцінного функціонала), визначений на  $\Theta \times \Phi$ .

На підставі проведених досліджень з характеру “поводження” середовища  $S$  у процесі прийняття рішень при виборі своїх станів  $\theta_j \in \Theta$  було виділено сім інформаційних ситуацій.

Перша інформаційна ситуація  $U_1$  характеризує випадок, коли прийняття рішення  $Y$  базується на знаннях апіорного розподілу ймовірностей  $p=(p_1, \dots, p_n)$ ,  $p_j=P\{\theta=\theta_j\}$ ,  $\sum p_j=1$  на елементах  $\theta_j \in \Theta$  станів середовища  $S$ . Ця ситуація ідентифікує “поводження” середовища  $S$  в умовах “ризик” і дозволяє ефективно використовувати теорію статистичних рішень. Така ситуація найбільш характерна для ситуації, коли на підставі статистичних даних контролю і діагностування обслуговуючим персоналом приймається необхідне рішення по встановленню чи коректуванню регламенту виконуємих робіт, а відповідно і визначенню обсягів використання матеріальних ресурсів. За критерієм Байєса практично визначено, що маючи у своєму розпорядженні дані контролю обслуговуючий персонал може на 15-20% скоротити обсяг зайвих робіт пов’язаних з розборками та пошуком несправностей.

В другій інформаційній ситуації  $U_2$  передбачається, що прийняття рішення  $Y$  ґрунтується на знаннях розподілу ймовірностей  $p(\omega)=[p_1(\omega), \dots, p_n(\omega)]$ ,  $\sum p_j(\omega)=1$ ,  $p_j(\omega)=P\{\theta=\theta_j\}$  на елементах  $\theta_j \in \Theta$  станів середовища  $S$ , що залежить від значень невизначеного параметра  $\omega$  з параметричної множини  $\Omega$ . Ця інформаційна ситуація при виконанні локомотивам ТО відображує невизначеність у виборі контролюємих параметрів вузлів, оскільки, як правило, закон розподілу ймовірностей технічних станів буває відомий, однак, параметри цього закону (на підставі яких робиться вибір елементів ЗІП) невідомі і підлягають визначенню. Практично встановлено, що ця ситуація істотно впливає на вибір технічних засобів контролю і діагностування та дозволяє значно скоротити оперативний час на аналіз технічного стану перевіряємого вузла.

Третя інформаційна ситуація  $U_3$  характеризується заданням імовірнісних відношень порядків на компонентах безлічі  $\Theta$  станів середовища  $S$ , індуцируючих відповідні відношення порядків на компонентах вектора апіорного розподілу  $\{p_1, \dots, p_n\}$ , який задається органом прийняття рішення  $Y$  на основі наявності в його розпорядженні інформації, його досвіду, інтуїції та відповідних обставин. При виконанні локомотивам ТО для цієї ситуації характерне визначення питань пов’язаних зі змінністю вузлів, деталей, мастила і матеріалів. В остаточному підсумку така ситуація характерна для варіантів 2 і 3 по формуванню ЗІП і визначенню його основних якісних і кількісних характеристик. Експериментальними перевірками встановлено, що при наявності готових



відремонтованих вузлів на 4-5% зменшується час на виконання ТО локомотивам.

Четверта інформаційна ситуація  $U_4$  характеризується невідомим розподілом  $p=(p_1, \dots, p_n)$ ,  $p_j=P\{\theta=\theta_j\}$ ,  $\sum p_j=1$  на елементах  $\Theta$ , з одного боку, і відсутністю активної протидії середовища  $S$  цілям прийняття рішень  $Y$  - з іншої. Ситуація  $U_4$  характеризує “повну відсутність знання” органом керування  $Y$  про поводження середовища  $S$ . Таку ситуацію можна зустріти при впровадженні нових типів локомотивів, освоєння нових технологій ТО і ПР, первісного призначення періодичності і регламенту виконання робіт їх обсягів і ін. Експериментально встановлено, що визначаючи розмір ЗІП і період його поповнення для цієї ситуації характерний варіант 4, відповідно якого запасні елементи можуть формуватися або в обмінному фонді (за рахунок їх ремонту), або з гарантійних поставок.

П'ята інформаційна ситуація  $U_5$ , характеризується активною протидією середовища  $S$  цілям прийняття рішень  $Y$  і в ній при виборі рішення є забезпечення гарантованих (максимінних) рівнів значень оцінюємого функціонала. Для цієї ситуації характерним є призначення на ТО додаткових робіт і їх обсягів у випадках коли повторюються відмовлення однотипних вузлів парка локомотивів. При цьому аналіз процесу прийняття рішень у ситуації  $U_5$  аналогічний основним правилам і елементам теорії антагоністичних ігор. Тому критерії прийняття рішень в інформаційній ситуації  $U_5$  засновані на принципі мінімакса (максиміна).

Шоста інформаційна ситуація  $U_6$  визначається наявністю факторів, що характеризують два типи “проміжного” поводження середовища  $S$ . Для першого типу характерна наявність в органі управління  $Y$  деякої “неясної” інформації про дійсні розподіли станів середовища  $S$ . Яка б невизначена ця “неясна” інформація не була, орган управління  $Y$  хоча і не може постулювати яку-небудь конкретну інформаційну ситуацію  $U_i$  ( $i=1, \dots, 5$ ), однак може встановити деякий рівень песимізму-оптимізму. Для другого типу передбачається, що орган управління  $Y$  має інформацію про стан середовища  $S$ , який є “проміжним” між інформаційними ситуаціями  $U_1$  і  $U_5$ . Для цього випадку така інформаційна ситуація “лежить” між двома крайніми ситуаціями  $U_1$  і  $U_5$  і характеризуються, з одного боку, повним або частковим знанням розподілів ймовірностей на  $\Theta$ , а з іншого боку - антагоністичним поводженням середовища  $S$ . Така ситуація характеризує оцінку обслуговуючим персоналом технічний стан локомотивів, що надходять на ТО. Як правило, результати цієї ситуації впливають на вагомість помилок першого і другого роду, а

також на організацію проведення контролю, за результатами якого здійснюється забезпечення ТО запасними частинами і матеріалами.

Сьома інформаційна ситуація  $U_7$  характеризує випадок, коли орган управління  $Y$  володіє “нечітким” знанням станів середовища  $S$ . При цьому передбачається, що орган управління  $Y$  точно знає повну безліч  $\Theta$  можливих станів  $\theta_j$  середовища, безліч  $\Phi$  своїх рішень  $\varphi_k$  і значення оцінного функціонала  $F = \{f_{jk}\}$ . Поводження середовища  $S$  у цій ситуації можна моделювати на основі понять теорії нечітких множин, застосування яких дає можливість сформулювати ситуацію прийняття рішень у виді

$$\{\Phi, A_\Theta, F\}, \quad (10)$$

де  $A_\Theta$  - нечітка множина або нечітка випадкова подія, обумовлена функцією, яка належить  $\tau_A$  і розподілом  $p$  ймовірностей станів середовища  $S$ . Дана інформаційна ситуація дозволяє моделювати кількісними характеристиками ЗІП для варіантів 6 і 7 у залежності від виробничих потужностей ремонтних підрозділів і надходжень сировини і матеріалів.

Експериментально встановлено, що особливістю дій обслуговуючого персоналу при формуванні ЗІП для проведення ТО локомотивам є досягнення визначених цілей на основі заданих переваг (достатність матеріалів і запасних частин, періоди їх поповнення, вимоги до відповідності характеристикам і ін.). Висунуті ситуації повністю адекватні експериментальним даним, які отримані у базових локомотивних депо (з розбіжністю до 4-9%) і підтверджують, що якість процесу прийняття рішень знаходиться в прямої залежності від повноти обліку всебічних факторів, істотних для наслідків від прийнятих рішень. У значній мірі покращити це становище дозволяє проведення контролю і діагностування. Отримана при цьому інформація буде відображати об'єктивний характер, і мати відповідну цінність, що дозволить формалізувати застосовуємі методи рішень.

Третій розділ присвячений аналізу удосконалення технології ТО з контролем і діагностуванням локомотивів. Проведено дослідження основних напрямків контролю якості продукції, а також можливість їх використання в локомотивному господарстві. Виходячи з цього, розширені основні цілі контролю локомотивів при проведенні ТО. Досліджені властивості структурних вузлів локомотива з допомогою лінійних або лінеаризованих залежностей відхилень вихідних параметрів елементів від відхилень їхніх вхідних параметрів. З лінійності рівнянь зв'язку визначений принцип незалежності дії відхилень параметрів окремих елементів на відхилення вихідного параметра об'єкта. Для реалізації цього був складений алгоритм для

ПЕОМ, який дозволив реалізувати структурне моделювання, скласти шляхові діаграми і визначити не тільки причинні зв'язки між заданими змінними, але й виконати перевірку різних гіпотез щодо цих зв'язків, які описуються як лінійними, так і нелінійними рівняннями.

Вихідними даними для цих розрахунків були прийняті:

- задане граничне відхилення вихідного параметра локомотива чи його системи;
- імовірність перебування граничних відхилень у заданих межах;
- первісні параметри складових частин контролюємих вузлів;
- функціональна схема локомотива чи його системи.

На підставі цього були змодельовані і експериментально визначені граничні значення вихідних параметрів систем автоматичного регулювання дизель-генераторних установок тепловозів 2ТЕ116 і ТЕП70. Практична їх перевірка з допомогою технічних засобів діагностування у базових локомотивних депо показала отримання стабільного відсотка відхилень вихідних параметрів (у межах 8-10%), який достатньо адекватний запропонованим моделям.

Для визначення інформації, що характеризує технічний стан локомотива при проведенні ТО, запропоновані алгоритми контролю і пошуку несправностей. При цьому було визначено, що вибір того чи іншого алгоритму обумовлений структурою контролю і необхідною глибиною пошуку дефекту. Для розробки алгоритмів ставилися дві задачі:

- визначити найкращий набір контролюємих параметрів;
- одержання найкращої послідовності перевірки і вимірювання контролюємих параметрів.

Виходячи з цього були удосконалені і запропоновані наступні алгоритми контролю і діагностування.

Алгоритм на основі половинного розбиття запропоновано використовувати для пошуку несправностей в електричних ланцюгах локомотивів, коли практично неможливо одночасно проконтролювати кожний елемент. Принцип алгоритму покладає розбиття всього ланцюга на дві частини, в кожній з яких визначається величина ентропії за формулою

$$H_0 = -\sum_{i=1}^N P(S_i) \log_2 P(S_i) . \quad (11)$$

де  $P(S_i)$  - імовірність стану одного елемента контролюємої частини ланцюга.

Після отримання двох результатів частина ланцюга де результат позитивний відкидається, а частина де величина ентропії негативна

у свою чергу розподіляється на дві нові частини. Розрахунки виконуються вже тільки для цих двох частин, визначаються нові значення величини ентропії і так далі. Таким чином алгоритм на основі половинного розбиття дозволяє проводити розподіл до тих пір, поки стан діагностуємого вузла не буде визначений із заданою глибиною пошуку. Проведеними експериментальними перевірками у опорних локомотивних депо для тепловозів 2ТЕ116 і ТЕП70, які мають складну електричну схему була визначена величина ентропії для наступних ланцюгів:

- збудження тягового генератора 0,74-0,86;
- живлення контакторів КВ і ВВ 0,66-0,87;
- запуску дизеля 0,42-0,64;
- управління автоматикою охолодження 0,41-0,53.

Отримані величини ентропії дозволяють обслуговуючому персоналу відразу обирати конкретне місце електричного ланцюга, з якого треба починати розподіл і пошук несправності.

У роботі розроблені також наступні алгоритми:

- послідовного функціонального аналізу, за якими визначається стан лімітуючих вузлів дизеля;
- імовірно-тимчасові, для обслуговування та ремонту складних електронних схем та блоків;
- інформаційні, для діагностування та прогнозування технічного стану з допомогою ПЕОМ;
- інженерний спосіб побудови алгоритмів контролю.

Проведено аналіз інформаційного забезпечення ТО локомотивів. Дороблено метод застосування відомої стратегії Байєса і розповсюджений на цілий клас задач, що виникають при організації контролю і діагностування. Зокрема запропоновано проводити вибір параметрів контролю, вважаючи їх діагностичними ознаками, на підставі розрахунку ймовірностей спільної появи подій. При цьому формування систем діагнозів може виконуватися з урахуванням функціонального складу контролюємих вузлів локомотивів. Особливе значення для цього має діагностична цінність ознак, кількісне визначення яких виконується на основі теорії інформації. Оцінюючи за результатами контролю стан ознаки, можна визначити діагностичні ваги реалізації ознак, діагностичні ваги інтервалу ознак і цілий ряд інших параметрів. Маючи в розпорядженні ці дані, можна визначити загальну діагностичну цінність обстеження для різних класів функціональних вузлів і систем, а також станів, у яких вони знаходяться. Її запропоновано визначати як

$$Z_D(k_j) = \sum_{i=1}^n P(D_i) Z_{D_i}(k_j) , \quad (12)$$

де  $P(D_i)$  - імовірність діагнозу в обраній системі обстеження  $D_i$ ;

$Z_D(k_j)$  - діагностична вага відповідної ознаки  $k_j$  в обраній системі діагнозів  $D_i$ ;

$n$  – кількість обраних діагностичних ознак.

На підставі цього у опорних локомотивних депо проведена експериментальна перевірка визначення діагностичної цінності інформації лімітуючих вузлів тепловозів, яка підтвердила достатньо адекватність запропонованій моделі. Так для вузлів дизеля запропоновано дев'ять ознак, діагностична цінність яких наведена у табл. 3. Таким чином отримано, що у першу чергу на ТО треба контролювати стан паливної апаратури (ознака 6,  $Z_D^0(k_6)=0,079$ ), за нею циліндро-поршневу групу (ознака 8,  $Z_D^0(k_8)=0,063$ ), після неї агрегати повітропостачання (ознаки 7,5 і 3,  $Z_D^0(k_7)=0,036$ ,  $Z_D^0(k_5)=0,035$ ,  $Z_D^0(k_3)=0,030$ ) і т.д.

Таблиця 3

№ ознаки	$P\left(\frac{k_j}{D}\right)$	$Z_D(k_j)$	$Z_D(\bar{k}_j)$	$Z_D^0(k_j)$
1	0,171	0,247	-0,046	0,004
2	0,057	-0,807	0,067	0,017
3	0,114	-0,725	0,127	0,030
4	0,143	-0,403	0,080	0,011
5	0,200	0,710	-0,134	0,035
6	0,314	0,822	-0,262	0,079
7	0,229	0,662	-0,149	0,036
8	0,257	0,832	-0,204	0,063
9	0,086	0,626	-0,047	0,011

У четвертому розділі наведений математичний опис технологічного процесу ТО локомотивів. При цьому ТО представлено як динамічний об'єкт, на який впливають різноманітні фактори (проведення контролю і діагностування, забезпечення МТЗ, характеристики обслуговуючого персоналу і ін.). Вони повинні підтримувати необхідний технологічний режим. Як вихідний параметр розглядався узагальнений показник, що оцінює правильність і ефективність функціонування об'єкта. Модель розглядалася як регресійна залежність у вигляді полінома по вхідним змінним

$$y_i = b_j x_{i1} + \dots + b_k x_{ik} + e_i, \quad (13)$$

де  $x_i$  - незалежні не випадкові змінні (регресори), значення яких визначалися для кожного  $i=1, n, j=1, k$ ;

$b_j$  - невідомі постійні параметри (регресійні коефіцієнти),  $j = \overline{1, k}$ ;

$e_i$  - невідома випадкова помилка;

$y_i$  - залежна перемінна (регресант).

Уся сукупність параметрів, зафіксованих у процесі їх збирання і реєстрації узагальнювалася у вигляді матриць спостереження

$$X_{(n \times k)} = \begin{pmatrix} x_{11} \dots x_{1k} \\ \dots \\ x_{n1} \dots x_{nk} \end{pmatrix} \quad Y_{(n \times 1)} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Відправним моментом при створенні моделі прийняті наступні допущення:

- у кожному дослідженні помилка  $e_i$  має нормальний закон розподілу;

- у кожному дослідженні математичне очікування помилки  $e_i$  дорівнює нулю ( $M[e_i] = m_i = 0$ );

- у всіх дослідженнях дисперсія помилки  $e_i$  постійна та однакова ( $D[e_i] = \sigma^2 = const$ );

- помилки  $e_i$  у будь-яких двох дослідженнях незалежні ( $Cov[e_i, e_q] = 0, i \neq q$ ).

Крім прийнятих допущень, що обмовляють поведження регресійної помилки  $e_i$ , були введені додаткові припущення:

- матриця спостережень  $X$  має повний ранг  $r_s(X) = k$ ;

- структура  $\varphi(\hat{B}, X)$  адекватна дійсної залежності;

- помилки реєстрації  $\Delta X_j$  вхідних перемінних  $x_j$  зневажливо малі в порівнянні з випадковою помилкою  $e_i$ .

Відповідно до даної методики в локомотивних депо Південної і Південно-Західний залізниць проводилися експериментальні дослідження. Через однакові інтервали часу з урахуванням всіх факторів реєструвалися основні значення контролюємих параметрів тепловозів: газоповітряного тракту дизеля; паливної апаратури; систем змащення; автоматичної системи збудження тягового генератора; вузлів допоміжного устаткування.

Вони враховувалися як фактори, що впливають на час проведення ТО. Крім того, до цих параметрів були додані організаційні фактори, що враховують час на проведення незапланованих контрольних операцій та зміну вузлів, стаж роботи обслуговуючого персоналу і його розряд роботи, а також дані наробітки локомотива чи його контролюємого вузла від часу проведення останнього ТО або ремонту. Як вихідні параметри

приймались потужність і паливна економічність локомотива. Отримані таблиці статистичних даних оброблялися за допомогою ПЕОМ.

Проведені експериментальні перевірки у базових локомотивних депо показали достатню адекватність їх запропонованим регресійним моделям. Так для технологічного процесу ТО паливної апаратури дизеля тепловоза ТЭП70 було отримано рівняння регресії

$$Y = 2,834 + 0,185X_1X_2 - 0,51X_1X_3 - 0,151X_1X_4 + 0,118X_1X_5 - \\ - 0,093X_1X_6 - 0,061X_1X_7 + 0,059X_2X_3 - 0,016X_2X_4 - 0,107X_2X_5 + \\ + 0,145X_2X_6 - 0,073X_2X_7 - 0,015X_3X_4 + 0,035X_3X_5 - 0,03X_3X_6 + \\ + 0,0045X_3X_7 + 0,112X_4X_5 - 0,125X_4X_6 - 0,005X_4X_7 + 0,019X_5X_6 - \\ - 0,006X_5X_7$$

з помилкою, що склала для цього випадку 12,8%.

Отримане рівняння достатньо добре описує технологічний процес. Значущими факторами згідно їх вагомості у цьому випадку стали:  $X_1$  – стаж роботи обслуговуючого персоналу (43%);  $X_2$  – розряд роботи обслуговуючого персоналу (27%);  $X_3$  – наробіток від останнього виду ТО чи ремонту (21%). Аналогічно були отримані регресійні рівняння, що досить адекватно описують залежності вихідних параметрів від контрольованих перемінних (з розбіжністю не більше 8,7-15,4%).

З урахуванням обставини, що окремі параметри локомотива дуже важко отримати при проведенні ТО (неможливість одержання даних при зупиненому локомотиві, складність стикування з контролюємим вузлом, значні витрати часу і ін.) у роботі виконані розробки мікропроцесорної автоматизованої системи збору й обробки інформації (АСЗОІ). Сформульовані вимоги до складу та архітектури АСЗОІ, а також до прикладного програмного забезпечення. Запропоновано гнучку структурну схему АСЗОІ, що дозволяє під час експлуатації проводити реєстрацію і накопичення інформації від штатних датчиків на різних типах ТРС. З точки зору моніторингу, на основі АСЗОІ, виконаний аналіз і розроблені пропозиції щодо створення “інтелектуального” рухомого складу, який “знає”, у якому стані знаходиться і як працює його устаткування, “допомагає” обслуговуючому персоналу заздалегідь виявляти й усувати несправності, а найчастіше і “сам” вживає заходів по виправленню ситуації.

У п'ятому розділі визначені характеристики об'єктів ТО і діагностування в локомотивному господарстві. Аналізом встановлено, що проведення ТО і ПР локомотивів у масштабах залізниці здійснюється децентралізовано. У той же час кожне депо відрізняється своєю структурою, виробничою потужністю,

технічним оснащенням і ін. Виходячи з цього, у роботі проведені дослідження з централізації в масштабах залізниці нових наукових досягнень і запропонована методика оптимальної дислокації ПКД на залізниці. Первісно вона припускає відому інформацію про потрібну кількість локомотивів для проведення ТО з контролем і діагностуванням. В основу методики розміщення ПКД покладена відома задача Ферма, що сформульована в такій формі. Нехай  $m$  існуючих об'єктів розміщені в різних місцях  $P_1, \dots, P_m$  деякої площини, а  $n$  нових об'єктів - у місцях  $X_1, \dots, X_n$ . Відстань між місцями розташування  $j$ -го нового і  $i$ -го існуючого об'єктів позначимо як  $d(X_j, P_i)$ , відстань між місцями розташування  $j$ -го і  $k$ -го нових об'єктів – як  $d(X_j, X_k)$ . Позначимо річні питомі витрати (тобто витрати на одиницю відстані) на перевезення між  $j$ -м новим і  $i$ -м існуючим об'єктами через  $w_{ji}$ , а аналогічні витрати на перевезення між  $j$ -м і  $k$ -м новими об'єктами – через  $v_{jk}$ . Тоді загальні річні транспортні витрати, пов'язані з розміщенням нових об'єктів у місцях  $X_1, \dots, X_n$  визначаються з формули

$$f(X_1, \dots, X_n) = \sum_{1 \leq j < k \leq n} v_{jk} d(X_j, X_k) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m w_{ji} d(X_j, P_i) . \quad (15)$$

Оптимізація відстані між об'єктами, де будуть розміщені ПКД, виконувалася з застосуванням метрики Мінковського

$$d(X_j, X_k) = |x_j - x_k| + |y_j - y_k| , \quad (16)$$

$$d(X_j, P_i) = |x_j - a_i| + |y_j - b_i| , \quad (17)$$

де  $X_j = (x_j, y_j)$  і  $P_i = (a_i, b_i)$ .

За критерій вибору оптимального варіанта був прийнятий мінімум суми витрат на проведення усіх видів ТО з використанням засобів і методів діагностики і витрат на транспортування рухомого складу

$$\min Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in Y} Z_{ij}^{(1)} (d_{ij} - x_{ikj}) + \sum_{i \in I} \sum_{k \in Y_2} \sum_{j \in Y} Z_{ij}^{(2)} (x_{ikj} + y_{ij}) + \sum_{i \in I_2} \sum_{k \in Y_2} \sum_{j \in Y} Z_{ikj}^{(3)} x_{ikj} . \quad (18)$$

де  $Z_{ij}^{(1)}$  - витрати на проведення ТО для одного локомотива  $i$ -ї серії у своєму депо;

$Z_{ij}^{(2)}$  - витрати на проведення ТО для одного локомотива  $i$ -ї серії в депо з ПКД;

$Z_{igj}^{(3)}$  - витрати, пов'язані з доставкою  $i$ -ї серії локомотивів з  $j$ -го депо в  $k$ -е депо з ПКД і назад;

Відповідно до цього був розроблений алгоритм і визначені основні локомотивні депо залізниці, де доцільно розмістити ПКД.

Для визначення характеристик ПКД приведена його динамічна модель, адаптована до конкретних умов. Даний вибір обґрунтований



дослідженнями, проведеними на кафедрі ЕРРС, у яких було доведено, що найбільш адекватною моделлю функціонування ПКД є модель системи масового обслуговування (СМО) з очікуванням і відносним пріоритетом для термінових вимог з урахуванням надійності і без переривання обслуговування. Розвиток засобів контролю, діагностики та обчислювальної техніки, застосування логістичних підходів викликає необхідність удосконалення математичного забезпечення задач моделювання на основі динаміки середніх.

Урахування процесів взаємозв'язку окремих підсистем локомотивного депо і їхня формалізація представлена у вигляді графа станів і переходів. По кожному виду локомотивів був визначений наступний стан: 1 - очікування виїзду під поїзд; 2 - виїзд під поїзд і очікування з ним відправлення; 3 - поїздка з поїздом; 4 - заїзд у депо з-під поїзда; 5 - проходження ТО з контролем і діагностуванням на ПКД; 6 - перебування на ремонті.

На підставі динаміки середніх отримані системи диференціальних рівнянь щодо середніх чисельностей стану локомотивного парку депо. У моделі з використанням принципу квазірегулярності враховано, що в загальному випадку інтенсивності переходів із становищ 1 в 5 ( $\lambda_{15}$ ) і навпаки ( $\lambda_{51}$ ) залежать тільки від їх чисельностей та пропускної здатності ПКД.

Система диференціальних рівнянь, що описує функціонування локомотивного парку при зазначених умовах і допущеннях має вигляд (19).

У цих рівняннях  $m_1^{\Gamma}, m_1^{\Pi}, m_2^{\Gamma}, m_2^{\Pi}, m_3^{\Gamma}, m_3^{\Pi}, m_4^{\Gamma}, m_4^{\Pi}, m_5^{\Gamma}, m_6^{\Gamma}$  середня кількість вантажних і пасажирських локомотивів, що знаходяться відповідно в становищах 1, 2, 3, 4, 5 і 6.

В результаті вирішення системи рівнянь на ПЕОМ виходячи з умов

$$m_1^{\Gamma} + m_2^{\Gamma} + m_3^{\Gamma} + m_4^{\Gamma} + m_5^{\Gamma} + m_6^{\Gamma} = N^{\Gamma}, \quad (20)$$

$$m_1^{\Pi} + m_2^{\Pi} + m_3^{\Pi} + m_4^{\Pi} = N^{\Pi}, \quad (21)$$

отримані чисельності локомотивів, які знаходяться у відповідних становищах.

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{dm_1^r}{dt} &= -\lambda^r R(m_1^r) - \lambda_{TO}^r m_1^r + \frac{1}{\bar{t}_{xoa}^r} m_4^r + \\
 &\quad + \frac{a(1-p^r)[1-e^{-(m_5^r+m_6^r)}]m_5^r}{m_5^r+m_3^r} + \frac{b[1-e^{-(m_5^r+m_6^r)}]m_6^r}{m_6^r+m_4^r}, \\
 \frac{dm_2^r}{dt} &= -\left(v_{xoa}^r + \frac{1}{\bar{t}_{xoa}^r}\right)m_2^r + \lambda^r R(m_1^r), \\
 \frac{dm_3^r}{dt} &= -\left(v_{noezd}^r + \frac{1}{\bar{t}_{noezd}^r}\right)m_3^r + \frac{1}{\bar{t}_{noezd}^r}m_2^r, \\
 \frac{dm_4^r}{dt} &= -\left(v_{xoa}^r + \frac{1}{\bar{t}_{xoa}^r}\right)m_4^r + \frac{1}{\bar{t}_{noezd}^r}m_3^r, \\
 \frac{dm_5^r}{dt} &= -\frac{a[1-e^{-(m_5^r+m_6^r)}]m_5^r}{m_5^r+m_3^r} + \lambda_{TO}^r m_1^r, \\
 \frac{dm_6^r}{dt} &= -\frac{b[1-e^{-(m_5^r+m_6^r)}]m_6^r}{m_6^r+m_4^r} + \frac{ap^r[1-e^{-(m_5^r+m_6^r)}]m_5^r}{m_5^r+m_3^r} + \\
 &\quad + v_{xoa}^r(m_2^r+m_4^r) + v_{noezd}^r m_3^r, \quad (19) \\
 \frac{dm_1^{\Pi}}{dt} &= -\lambda^{\Pi} R(m_1^{\Pi}) - \lambda_{TO}^{\Pi} m_1^{\Pi} + \frac{1}{\bar{t}^{\Pi}} m_4^{\Pi} + \\
 &\quad + \frac{a(1-p^{\Pi})[1-e^{-(m_3^{\Pi}+m_4^{\Pi})}]m_3^{\Pi}}{m_3^{\Pi}+m_5^{\Pi}} + \frac{b[1-e^{-(m_3^{\Pi}+m_4^{\Pi})}]m_4^{\Pi}}{m_3^{\Pi}+m_4^{\Pi}}, \\
 \frac{dm_2^{\Pi}}{dt} &= -\left(\frac{1}{\bar{t}^{\Pi}} + v^{\Pi}\right)m_2^{\Pi} + \lambda^{\Pi} R(m_1^{\Pi}), \\
 \frac{dm_3^{\Pi}}{dt} &= -\frac{a[1-e^{-(m_3^{\Pi}+m_4^{\Pi})}]m_3^{\Pi}}{m_3^{\Pi}+m_5^{\Pi}} + \lambda_{TO}^{\Pi} m_1^{\Pi}, \\
 \frac{dm_4^{\Pi}}{dt} &= -\frac{b[1-e^{-(m_3^{\Pi}+m_4^{\Pi})}]m_4^{\Pi}}{m_3^{\Pi}+m_4^{\Pi}} + v^{\Pi} m_2^{\Pi} + \frac{ap^{\Pi}[1-e^{-(m_3^{\Pi}+m_4^{\Pi})}]m_3^{\Pi}}{m_3^{\Pi}+m_5^{\Pi}}
 \end{aligned} \right.$$

Таблиця 4

Розрахункові значення середньодобової кількості локомотивів  
відповідно становищ

Становище локомотива	Значення
очікування виїзду під поїзд	0,65
виїзд під поїзд і очікування з ним відправлення	1,4
поїздка з поїздом	8,2
заїзд в депо з-під поїзда	0,8
проходження ТО	4,3
перебування на ремонті	1,6

Проведена експериментальна перевірка пропускної здатності ПКД у базових локомотивних депо показала адекватність запропонованої моделі реальним значенням (розбіжність між розрахунковими та практичними значеннями не перевищує 3-5%).

Для проведення ТО з контролем і діагностуванням маневрових і вивізних локомотивів, що працюють на віддалених від основного локомотивного депо пунктах, запропонована технологія з використанням пересувної станції. Організацію роботи цієї пересувної станції запропоновано реалізувати за методикою, заснованої на вирішенні мережної задачі (задачі комівояжера). Вона полягає у визначенні оптимального маршруту пересування станції з одного пункту в інший, не заїжджаючи в один пункт двічі. Дана методика формалізована за допомогою приватного методу “віток і границь”, що заснований на складанні вихідних матриць відстаней і побудови графа розв'язання маршрутів.

У результаті послідовної редукції рядків і стовпців матриці відстаней, а також виділення гамільтонових циклів на вихідному графі отриманий оптимальний маршрут пересування станції ТО і діагностування та її критичний шлях.

Проведені експериментальні поїздки у базовому локомотивному депо дослідної пересувної станції ТО та її маршрути показали адекватність запропонованій моделі (розбіжність між критичними шляхами складає не більше 8%).

В шостому розділі запропоновані організаційно-технічні заходи щодо впровадження методів контролю, діагностування і МТЗ. З урахуванням проведених досліджень розроблені регламент і алгоритм коректування переліку необхідних операцій на ТО-3 локомотивів.

Сформовано схему надходження і передачі інформаційних потоків при проведенні контролю і діагностування за допомогою АРМ, установлюваних на ПТО, ПКД і в інших структурних підрозділах депо. Розроблено перелік технічних засобів для оснащення ПКД і ПТО на основі сучасних приладів для контролю і діагностування вузлів локомотивів. За результатами роботи створено методичне забезпечення вибору електронних деталей для імпортних локомотивів [2]. Воно дозволяє на підставі аналізу та адекватності характеристик імпортним деталям запровадити вибір вітчизняних елементів для їх подальшої заміни, а саме 86% активних елементів (мікросхем, напівпровідникових приладів тощо) і повну заміну пасивних елементів. Проведена оцінка економічної ефективності упровадження нової технології. При цьому була визначена вартість додаткового устаткування і джерела інвестицій: власні засоби (20%) і внутрішні кредити інших служб (80%) з річною ставкою 110%. Прийнято, що погашення боргу здійснюється відповідно до договору рівномірно на протязі 5 років. Річний приріст чистого прибутку залізниці після впровадження прогнозується в розмірі 6,0 тис. грн. на один локомотив. Для встановлення норми дисконту,

що відповідає прийнятної для інвестора нормі доходу на капітал, була визначена “ціна” авансованого капіталу у розмірі 17,6%, яка відповідає мінімальному значенню прийнятної норми доходу. Термін окупності інвестицій розрахований на 5 років. На підставі цього зроблений висновок, що впровадження нової технології ТО з контролем і діагностуванням є економічно виправдане і ефективне при обраних джерелах фінансування. Розрахований термін окупності ПКД. При цьому створюється ПКД розглядався як  $n$ -канальна СМО з відмовленнями, у яку надходить найпростіший потік заявок з інтенсивністю  $\lambda$ . Було покладено, що продуктивність кожного каналу  $\mu$  і обслуговування однієї заявки приносить середній відносний дохід  $C_1'$ . При цьому створення одного каналу обслуговування вимагає середніх відносних витрат  $C_2'$ , а експлуатація одного каналу в одиницю часу вимагає середніх відносних витрат  $C_3'$ . На підставі цих даних був визначений час  $\tau$ , через який ПКД почне приносити прибуток. На підставі проведених розрахунків отримані залежності середнього відносного прибутку

$$P(\tau) = 0,28\tau - 0,21, \quad (22)$$

середніх відносних витрат

$$B(\tau) = 0,088\tau + 0,21, \quad (23)$$

середнього відносного доходу

$$D(\tau) = 0,407\tau. \quad (24)$$

Після спільного вирішення цих залежностей для базових локомотивних депо Південної і Південно-Західній залізниць було визначено, що початок стабільної експлуатації ПКД відбудеться через 0,7-0,8 року, а його окупність здійсниться через 1,5-1,7 року.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі комплексно вирішена науково-технічна проблема вдосконалення технології контролю, діагностування і МТЗ при ТО локомотивів, що забезпечує зменшення експлуатаційних витрат і поліпшення технічного стану локомотивного парку.

Створені розрахункові моделі дозволяють комплексно вирішувати задачі визначення реальних кількісних показників матеріальних запасів для забезпечення стабільної експлуатації локомотивів, розробляти періодичність їх поповнення, приймати економічно обґрунтовані рішення по коректуванню регламенту робіт на ТО, коректувати настройку лімітуючих систем і забезпечувати постійний моніторинг технічного стану, розробляти з застосуванням ПЕОМ комплекти технічної документації на технологічні процеси

ТО і ПР. Теоретичні і методичні розробки дисертаційної роботи можуть бути використані для створення методичного забезпечення навчальних планів ІППК і ФПК.

На підставі проведених у дисертаційній роботі досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Досліджені фактори, що впливають на організацію технічного утримання ТРС і виявлено, що з ростом старіння парку локомотивів на залізницях України особливу актуальність викликає передчасна заміна зношених деталей не тільки при проведенні великих ремонтів, але і при виконанні локомотивам ТО, чого раніше кілька років тому назад не спостерігалось. Досліджена система МТЗ в локомотивному господарстві залізниць України, СНД і країн далекого зарубіжжя. При цьому встановлена особлива увага цьому питанню в Росії й інших розвинутих країнах, широкий розвиток сервісного обслуговування, що дозволяє гнучко та оперативно впливати на технічний стан локомотивного парку.

2. Формалізована задача розрахунку інтервалів поповнення матеріальними ресурсами (паливом, мастилом, матеріалами і запасними частинами), яка дозволила визначити реальні періоди поповнення цих запасів для ПТО локомотивів. Для базових локомотивних депо отримано, що в залежності від умов експлуатації відносний річний період поповнення ПТО паливом складає 0,05-0,07, маслом і мастильними матеріалами 0,1-0,42. Розглянуто склад і призначення ЗІП, виділені основні ознаки його класифікації по призначенню, безвідмовності, ремонтпридатності і зберігаємості. Запропоновано формування ЗІП для різних структурних підрозділів локомотивного депо і виділено сім основних варіантів забезпечення запасними елементами, з урахуванням поповнення його від зовнішніх джерел, а також відповідних ремонтних підрозділів, що виконують відновлення вузлів і деталей локомотивів. Визначена загальна достатність сформованих варіантів ЗІП, яка склала для ПТО - 0,76, а для ремонтних підрозділів 0,54 від часу їх річної витрати. На підставі цього отримані також кількісні значення нормативних запасів на ПТО для тепловозів 2ТЕ116 і ТЕП70.

3. Виходячи з теорії прийняття рішень виявлені характерні риси формування ЗІП і визначені сім інформаційних ситуацій, що дозволяють обслуговуючому персоналу будувати нормативні процедури, формалізовувати ці переваги і у кожному конкретному випадку приймати оптимальні рішення по комплектації і поповненню матеріальних ресурсів. За критерієм Байєса з імовірністю 0,78-0,96 визначено впливання зовнішніх факторів на процес формування ЗІП.

4. Визначені імовірнісні ознаки, які несуть інформацію про відхилення від норм параметрів при проведенні ТО з контролем і діагностуванням та дозволяють розпізнавати технічний стан

перевіряемого вузла. На підставі цього отримані кількісні результати діагностичної цінності обстеження локомотивів, що з імовірністю 0,75-0,86 враховують усі можливі їх ознаки і являють собою математичне очікування величини інформації, внесеної окремими реалізаціями. Визначена характеристика структурних параметрів і відображена їх залежність від виду технічного стану локомотивів. Розраховані граничні значення структурних параметрів локомотивів тополого-імовірносним методом. На підставі використання орієнтованих графів, що відображують структуру локомотива чи його вузла визначена розбіжність відхилення вихідних даних від зміни структурних параметрів тепловозів 2ТЕ116 і ТЕП70, яка складає 8-12%. Запропоновані алгоритми контролю і діагностування, розкриті їх особливості, визначені переваги і недоліки у кожному випадку, а також для кожного з них запропонована відповідна реалізація з урахуванням конструктивних особливостей локомотива, його функціонального складу і технології проведення ТО.

5. Розкрито значення і визначено впливання статистичного контролю на точність і оперативність проведення ТО. Розкриті основні цілі контролю локомотивів і їх вузлів. На підставі аналізу запропоновано для окремих технологічних операцій при ТО застосовувати вибірковий контроль, який використовує альтернативні ознаки. Визначено, що послідовний контроль із застосуванням ПЕОМ є найбільш швидким, економічним і дозволяє порівнювати дійсну з, раніш накопиченою, параметричною інформацією.

6. На підставі формалізації математичного опису технологічного процесу ТО з організацією контролю, діагностування і МТЗ одержані регресійні залежності, які дозволяють оцінювати і регулювати фактори, що впливають на ТО. Значимість факторів і оцінка впливання на ТО технологічних операцій і контролюємих параметрів визначалась з допомогою помилок, які склали для: систем електрообладнання локомотивів 5,4-7,2%, енергосилового обладнання 6,8-12,3%, інших систем 6,3-15,4%. На підставі цього для всіх систем локомотива було визначено впливання найбільш значущих факторів, що характеризують: стаж роботи обслуговуючого персоналу (43-56%); розряд роботи обслуговуючого персоналу (27-33%); наробіток від останнього виду ТО чи ремонту (21-28%).

7. За критерієм мінімуму витрат на проведення локомотивам усіх видів ТО з використанням діагностування та транспортування їх в інше депо визначена дислокація ПКД у основних локомотивних депо залізниці, яка дозволяє на 5-8% скоротити час непродуктивного простою локомотива і підвищити рівень його надійності. На підставі динаміки середніх розроблена адаптована до сучасних умов

динамічна модель функціонування ПКД, яка дозволяє визначати його пропускну здатність і складає при визначеному становищі 0,64 тепловоза на добу.

8. Розроблені наукові основи технології функціонування пересувних станцій ТО і діагностування з використанням принципів теорії масового обслуговування і вирішення мережних задач. Використання цієї моделі дає можливість оптимізувати маршрут пересувної станції і на 7-9% скоротити його критичний шлях.

9. Отримана оцінка режимів експлуатації локомотивів і запропоновані теоретичні передумови по організації моніторингу технічного стану вузлів ТРС. Запропоновано варіант структурної схеми автоматизованої системи збирання та обробки інформації (АСЗОІ) з урахуванням останніх досягнень обчислювальної й електронної техніки.

10. Розроблена концепція утримання локомотивів, що узагальнює і розвиває взаємозв'язок МТЗ з методами контролю і діагностування при проведенні ТО. Запропонована методика оцінки економічної ефективності впровадження ПКД, яка підтвердила можливість одержання окупності за 1,8-2,0 роки. Експлуатація локомотивів відповідно до запропонованої технології дозволила знизити експлуатаційну витрату дизельного пального на 1,8%, знизити змінюємість відповідальних деталей локомотивів на 4,2% і поліпшити екологічні показники на 5,2%.

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

- 1.Тартаковский Э.Д., Бабанин А.Б., Крашенинин А.С. Определение технического состояния локомотивов и диагностической ценности информации по статистическим данным депо: Учебное пособие для студентов специальности 1709 "Локомотивы" и слушателей ФПК. Харьков. – ХИИТ. – 1990. – 57с.
- 2.Бабанин А.Б. Методическое обеспечение выбора электронных деталей импортного производства для тепловозов ЧМЭЗ и электровозов типа ЧС: Монография. - Харьков, ХГАЖТ. – 1996. – 215с.
- 3.Тартаковский Э.Д., Ефименко В.И., Бабанин А.Б. и др. Развитие математических моделей технологии обслуживания и ремонта локомотивов. // Совершенствование конструкции, технологии эксплуатации и ремонта подвижного состава / Межвуз. сб. науч. тр. – Харьков, ХИИТ. – 1987. – Вып.2. – С.65-70.
- 4.Тартаковский Э.Д., Бартновский А.М., Бабанин А.Б. и др. Основные направления НИР ХИИТа по диагностированию ТПС в эксплуатации // Моделирование процессов обслуживания,

диагностирования и ремонта подвижного состава / Межвуз. сб. науч. тр. – Харьков, ХИИТ. – 1989. - Вып.8. – С.3-7.

5.Осяев А.Т., Бабанин А.Б., Бортновский Д.М. Автоматизированное рабочее место инженера-технолога (АРМ-ИТ) в структуре информационно-управляющей системы ремонта локомотивов // Вопросы совершенствования системы ремонта электроподвижного состава при применении средств и методов технического диагностирования / Сб. науч. тр. – М.: Транспорт. – 1991. – С.12-15.

6.Тартаковский Э.Д., Бабинский И.И., Бабанин А.Б. и др. Совершенствование технологии технического обслуживания тепловозов. // Электрическая и тепловозная тяга. - №12. – 1991. – С.12-18.

7.Тартаковский Э.Д., Бабинский И.И., Бабанин А.Б. Совершенствование технологии технического обслуживания тепловозов. // Электрическая и тепловозная тяга. - №1. – 1992. – С.12-18.

8.Бабанин А.Б., Бабинский И.И., Цымбалов Э.Р. Аналого-цифровой метод диагностирования топливной аппаратуры тепловозных дизелей // Совершенствование конструкции, эксплуатации и ремонта локомотивов / Межвуз. сб. науч. тр. – Харьков. – ХИИТ. – 1993. – Вып.22. – С.47-49.

9.Теслик А.Г., Черняк Ю.В., Бабанин А.Б. и др. Определение и учет показателей выбросов вредных веществ дизельными двигателями тепловозов // Совершенствование конструкции, эксплуатации и ремонта локомотивов / Межвуз. сб. науч. тр. – Харьков. – ХИИТ. – 1993. – Вып.22. – С.16-21.

10.Бабанин А.Б. Микропроцессорное устройство для диагностирования регулятора частоты вращения тепловозных дизелей. // Совершенствование конструкции, эксплуатации и ремонта локомотивов / Межвуз. сб. науч. тр. – Харьков. – ХИИТ. – 1993. – Вып.22. – С.64-68.

11.Теслик А.Г., Бабанин А.Б., Черняк Ю.В. и др. Разработка программного обеспечения расчетов экологических показателей работы транспортных энергоустановок // Управление технической эксплуатацией локомотивов / Межвуз. сб. науч. тр. – Харьков. – ХГАЖТ. – 1997. – Вып.29. – С.28-30.

12.Бабанин А.Б., Резник В.М. Объемный метод измерения расхода топлива на локомотивах // Управление технической эксплуатацией локомотивов / Межвуз. сб. науч. тр. – Харьков. – ХГАЖТ. – 1997. – Вып.29. – С.57-60.

13.Грищенко С.Г., Бабанин А.Б. Запись, накопление и расшифровка параметров локомотивов в эксплуатации. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1997. - №2. – С.40-41.



- 14.Бабанін О.Б., Резнік В.М. Переносний електронний реєструючий комплекс // Міжвуз. зб. наук. праць / ХарДАЗТ, 1998. – Вип.34 – С.57-59.
- 15.Данилевский В.И., Бабанин А.Б., Теслик А.Г. Построение специальной информационной системы обеспечения решений. Ч1,2,3. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1998. - №5. – С.75-82.
- 16.Бабанин А.Б., Батюшин И.Е., Теслик А.Г. Использование экспертной системы (ЭС) в специальной информационной системе для обеспечения решений. // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1999. - №1. – С.46-49.
- 17.Бабанин А.Б. Автоматизация регистрации параметров локомотивов // Підвищення ефективності технології та техніки для виконання вантажно-розвантажувальних, будівельних і колійних робіт на залізничному транспорті: Зб. наук. праць / ХарДАЗТ. - 1999. – Вип.36. – С.155-159.
- 18.Бабанін О.Б. Розробка теоретичних основ експлуатаційної технологічності локомотивів // Зб. наук. праць / ХарДАЗТ. – 1999. – Вип.39. - С.88-93.
- 19.Данилевский В.И., Бабанин А.Б., Теслик А.Г. Принципы разработки электронного каталога-справочника по запасным частям для подвижного состава железных дорог Украины. // Залізничний транспорт України. – 2000. - №1. – С.8-9.
- 20.Бабанін О.Б. Прийняття рішень в умовах невизначності у локомотивному господарстві // Зб. наук. праць / ХарДАЗТ. – 2000. – Вип.42. - С.19-22.
- 21.Тартаковський Е.Д., Бабанін О.Б. Визначення середніх чисельностей станів вузлів тепловоза методом динаміки середніх // Зб. наук. праць / ХарДАЗТ. – 2000. – Вип.44. – С.43-47.
- 22.Тартаковський Е.Д., Бабанін О.Б. Формалізація задач матеріально-технічного забезпечення при технічному обслуговуванні локомотивів // Зб. наук. праць / ХарДАЗТ. – 2000. – Вип.45. – С.18-24.
- 23.А.с. 1433176 СССР / Устройство для определения фаз газораспределения двигателя внутреннего сгорания. / Бабинский И.И., Бабанин А.Б., Бойчук В.Б., Каганский О.С., Колотий В.П., Матяш В.А., Тартаковский Э.Д. Заявка №3993408. Зарегистрировано 22.06.1988.
- 24.А.С. 1599693 СССР / Устройство для диагностирования цилиндропоршневой группы двигателя с электрическим запуском. / Тартаковский Э.Д., Климов Г.Е., Каганский О.С., Бабанин А.Б., Мальцев А.Н., Пузырь В.Г. Заявка №4605888. Зарегистрировано 15.06.1990.
- 25.Бабанин А.Б., Касьянов И.Н., Судаков В.А. Интенсивная технология технического обслуживания и диагностирования

- тепловозов ЧМЭЗ // - М.: 1991. – 10с. Деп в ЦНИИ ТЭИ МПС 31.01.91г. №5363.
- 26.Жалкин С.Г., Тартаковский Э.Д., А.Б., Бабанин А.Б. и др. Повышение топливной экономичности тепловоза путем совершенствования технологии контрольно-диагностических операций // Труды научно-технической конф. НТО жел. дор. тр-та. – М.: 1988. - С.62.
- 27.Бабанин А.Б., Пузырь В.Г. Диагностирование ответственных узлов тепловозов при помощи микропроцессорных приборов // Труды 53 научно-технической конференции кафедр института и специалистов железнодорожного транспорта.. – Харьков. – ХИИТ. - 1991. – С.6.
- 28.Теслик А.Г., Бабанин О.Б., Білоус Ю.А. Встановлення рівня викидів шкідливих речовин тепловозами різних серій і методи їх зменшення засобами технічної діагностики. // Матеріали 56 науково-технічної конференції кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту за міжнародною участю. – Харків. – ХарДАЗТ. – 1994. – С.3-4.
- 29.Агулов А.Ф., Бабанин О.Б. Модернізація тепловозів 2ТЕ116 і ЧМЕЗ. // Матеріали 57 науково-технічної конференції кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту за міжнародною участю. – Харків: ХарДАЗТ. - 1995.- С.7.
- 30.Бабанин О.Б., Білоус Ю.А. Наслідки досліджень і висновки по заміні та модернізації електронного обладнання імпортних локомотивів ЧМЕЗт та ЧС // Тези 58 науково-технічної конференції кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту за міжнародною участю. - Харків: ХарДАЗТ.–1997.-С.5.

### **АНОТАЦІЯ**

Бабанин О.Б. Наукові основи вдосконалення технології контролю, діагностування та матеріально-технічного забезпечення при технічному обслуговуванні локомотивів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук по спеціальності 05.22.07 – “Рухомий склад залізниць та тяга поїздів”, Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2001.

Дисертаційна робота присвячена питанням підвищення ефективності використання тягового рухомого складу. Створені розрахункові моделі по визначенню матеріальних запасів і періодичності їх поповнення. Визначена достатність сформованих варіантів ЗІП і визначені інформаційні ситуації, які впливають на поповнення матеріальних ресурсів.

Визначено впливання статистичного контролю на точність і оперативність проведення ТО. Одержані регресійні залежності, що

дозволяють оцінювати і регулювати фактори, які впливають на ТО. Виконаний аналіз і проведені розрахунки по визначенню дислокації ПКД. Розроблені наукові основи технології функціонування пересувних станцій ТО і діагностування.

Ключові слова: відмова, дислокація, діагностика, забезпечення, запас, контроль, локомотив, стратегія, технічне обслуговування, технологія.

## **THE SUMMARY**

Babanin A.B. Scientific bases of perfection of technology of the control, diagnosing and material maintenance at maintenance service of locomotives. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of engineering science on a specialty 05.22.07 – “The rolling-stock of railway and draft of trains”, Kharkov state academy of a railway transportation, Kharkov, 2001.

The dissertation the work is devoted by a question of increase of efficiency use drafting of the rolling-stock. The settlement models by definition of material stocks and periodicity of their updating are created. The technique of definition of sufficiency of the generated variant ZIP and determinate information strategy of updating of material resources is developed.

The influence of statistical methods of the control on accuracy and efficiency of realization maintenance service is determined. The technique of reception regression of dependencies is offered which allows to estimate and to adjust the factors, which influence maintenance service. The technique is developed and the accounts by definition dislocations PCD are carried spent. The scientific bases of technology of functioning of mobile stations maintenance service and diagnosing are developed.

Key words: failure, dislocation, diagnostics, maintenance, stock, control, locomotive, strategy, maintenance service, technology.

## **АННОТАЦИЯ**

Бабанин А.Б. Научные основы совершенствования технологии контроля, диагностирования и материально-технического обеспечения при техническом обслуживании локомотивов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 – “Подвижной состав железных дорог и тяга поездов”, Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2001.

Диссертационная работа посвящена вопросам совершенствования технологии контроля, диагностирования и материально-технического обеспечения при ТО локомотивов, обеспечивающая уменьшение эксплуатационных затрат и улучшение технического состояния локомотивного парка.

Исследована система материально-технического обеспечения в локомотивном хозяйстве железных дорог Украины, СНГ и стран дальнего зарубежья. Установлено особое внимание этому вопросу в России и других развитых странах, а также развитию сервисного обслуживания, позволяющего гибко и оперативно влиять на техническое состояние локомотивного парка.

Формализована задача расчета интервалов пополнения материальными ресурсами (топливом, смазкой, материалами и запасными частями), позволяющая определять реальные периоды пополнения этих запасов для ПТО локомотивов. Сформирован ЗИП для различных структурных подразделений локомотивного депо, по которым предложено семь основных вариантов обеспечения запасными элементами, с учетом пополнения их от внешних источников, а также соответствующих ремонтных подразделений, выполняющих восстановление узлов и деталей локомотивов.

Определена достаточность сформированного варианта ЗИП, учитывающая количественные и качественные характеристики заявок с места замены, интенсивность потока замен деталей, номенклатуру деталей для конкретного типа локомотива, на основании которой получены количественные значения нормативных запасов ЗИП для ПТО локомотивов.

Выявлены характерные особенности процессов принятия решений обслуживающим персоналом в стратегиях формирования ЗИП. Выделены семь информационных ситуаций позволяющие строить нормативные процедуры, формализовать эти предпочтения и принимать оптимальные решения по комплектации и пополнению материальных ресурсов. Определены вероятностные признаки, несущие информацию об отклонениях от норм параметров при проведении ТО с контролем и диагностированием, позволяющие распознавать техническое состояние проверяемого узла.

Предложены алгоритмы контроля и диагностирования. Раскрыты особенности каждого из них, определены их достоинства и недостатки, а также для каждого из них предложена соответствующая реализация с учетом конструктивных особенностей локомотива, его функционального состава и технологии проведения ТО. Раскрыты основные цели контроля локомотивов и их узлов. На основании анализа контроля качества предложено для технологического процесса ТО локомотивов применять метод выборочного контроля по альтернативному признаку и последовательный метод.

В результате формализации математического описания технологического процесса ТО с организацией контроля, диагностирования и МТО получены регрессионные зависимости, описывающие динамику влияющих на него факторов. На основе анализа поведения ошибок определена значимость влияния технологических операций и контролируемых параметров на выходные данные локомотивов.

Определена дислокация ПКД в локомотивных депо дороги как задача линейного программирования. На основании динамики средних разработана динамическая модель функционирования ПКД адаптированная к современным условиям и позволяющая определять его пропускную способность. Разработаны научные основы технологии функционирования передвижных и стационарных пунктов ТО и диагностирования с использованием принципов теории массового обслуживания и решения сетевых задач. Предложены теоретические предпосылки по организации мониторинга при встроенных и внешних средствах контроля технического состояния узлов ТПС. Предложен вариант структурной схемы автоматизированной системы сбора и обработки информации (АССОИ) с учетом последних достижений вычислительной и электронной техники.

Разработана концепция содержания локомотивов, которая обобщает и развивает взаимосвязь МТО с контролем и диагностированием при проведении ТО. Выполнена оценка экономической эффективности внедрения предложенных мероприятий.

Ключевые слова: отказ, дислокация, диагностика, обеспечение, запас, контроль, локомотив, стратегия, техническое обслуживание, технология.