

Українська державна академія залізничного транспорту

Фалендиш Анатолій Петрович

УДК 629.421.4.001.3

**Розвиток наукових основ визначення
характеристик перспективних
маневрових тепловозів**

Спеціальність 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків - 2006

Дисертація 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. В. Даля, кафедра «Нарисна геометрія і графіка»,
завідувач кафедри

Доктор технічних наук, професор
Головко Вячеслав Федорович,
Українська державна академія залізничного
транспорту, кафедра „Вагони”, завідувач кафедри

Доктор технічних наук, професор
Маслієв Вячеслав Георгійович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний університет», кафедра «Електричний
транспорт та тепловозобудування», професор

Провідна установа Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені В. Лазаряна, кафедра
"Локомотиви", Міністерство освіти і науки України,
м. Дніпропетровськ

Захист відбудеться " ____ " _____ 2006 р. о ____ годині на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Української державної академії
залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7
ауд. 1.301

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

Автореферат розісланий " ____ " _____ 200__ р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Бойнік А.Б.

Вступ

В теперішній час, згідно із статистичними даними, на залізницях України маневрова і маневрово-вивізна робота здійснюється парком тепловозів в основному (98%) чеського виробництва, з них маневрові тепловози ЧМЕЗ займають більше 83%. Згідно з прогнозними планами Укрзалізниці, парк маневрових тепловозів уже в 2007 році буде складати менше 1000 локомотивів, що більше ніж в 2 рази менше в порівнянні з 1994 роком. При цьому моніторинг обсягів маневрових робіт показує їх можливе збільшення.

Маневрові тепловози масово закуповувались в період з 1970 по 1987 роки, а в даний момент вони в основному виробили свій ресурс, що викликає необхідність поповнення парку. Вхідження України в Європейську спільноту держав та досвід розвинутих країн показує, що характеристики нових тепловозів повинні бути раціональними не тільки для умов вітчизняних залізниць, а й відповідати світовим стандартам. При цьому такі локомотиви найбільш доцільно мати вітчизняного виробництва.

Актуальність теми дисертації

Для нашої держави, в якій виконується великий і різноманітний обсяг перевезень, доцільно було б мати типажний ряд локомотивів. На це вказує те, що маневрова робота більш ніж на 50% станцій має невеликі обсяги, тому використання локомотивів середньої потужності серії ЧМЕЗ та великої потужності – ЧМЕ5 є економічно недоцільним. Створення маневрового тепловоза малої потужності викликає великий науково-практичний інтерес, так як він може ефективно використовуватись і на промисловому транспорті.

В Україні виробництво маневрових тепловозів до 1984 року було налагоджено на луганському заводі „Луганськтепловоз” та на харківському „Заводі ім. Малишева”. В теперішній час розробляється для потреб залізниць новий типажний ряд маневрових тепловозів, який потребує наукового і практичного обґрунтування його характеристик.

Одним із етапів вирішення даної проблеми є визначення характеристик перспективних маневрових тепловозів, які дозволили б отримати локомотив з найменшою лімітною ціною, конкурентоспроможний, з світовим технічним рівнем та раціональною системою експлуатації технічного обслуговування та ремонту (ЕТОР). Для цього необхідно науково обґрунтувати нову концепцію створення маневрових тепловозів, яка б в комплексі враховувала динаміку зміни характеристик на протязі всього життєвого циклу. При цьому повністю повинен бути врахований ланцюжок від створення локомотива, систем сервісного обслуговування до взаємовідносин заводу-виробника та

замовника при їх взаємодії та модульності принципу проектування. При цьому необхідно визначити типи передачі потужності, типи дизелів, кількість осей. Це є науково-прикладною проблемою, якій раніше в Україні приділялось недостатньо уваги. Тому тема дисертації, яка націлена на визначення основних характеристик маневрових тепловозів на протязі всього життєвого циклу, є актуальною науковою проблемою. Вона підтверджується Державною програмою "Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту та міського господарства", введеною в дію Постановою Кабінету Міністрів України від 2 червня 1998 р. №769.

Зв'язок роботи з науковими програмами

Робота виконана згідно з вказаною вище Державною програмою, науково-технічною програмою «Розвиток відомчого залізничного транспорту для забезпечення вантажних перевезень на підприємствах України (Наказ Міністерства промислової політики України від 13.12.2004 р. №667) та „Концепцією та програмою реструктуризації на залізничному транспорті України”.

Наукові результати дисертаційної роботи отримані при виконанні планів таких держбюджетних науково-дослідних робіт: „Прогнозування характеристик маневрових, магістральних тепловозів та дизель-поїздів з урахуванням життєвого циклу” (ДР 0105U000899) та науково-дослідних робіт „Вибір, обґрунтування та видача пропозицій по основним параметрам маневрового тепловозу потужністю 800 к.с.” (ДР 0104U000031, архів № 0204U006106), „Розробка техніко-економічного обґрунтування, експертиза нормативно-технічної документації по маневровому тепловозу та участь у випробуваннях” (ДР 0103U000018, архів № 0305U001125), „Методичні вказівки з підготовки і проведення приймальних випробувань тягового рухомого складу та його складових” (ДР 0104U007601, архів № 0205U000183), „Вибір оптимальних параметрів перспективних типів магістральних, маневрових тепловозів та моторвагонного рухомого складу” (ДР 0104U003178, архів № 0204U006105), "Наукове обґрунтування нової системи сервісного обслуговування та ремонту дизель- та електропоїздів за участю локомотивобудівельної промисловості” (ДР 0195U013377, архів № 0201U004594), «Тимчасове положення про обслуговування та ремонт нового наукоємного тягового рухомого складу» (ДР 0105U000893).

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є вирішення науково-прикладної проблеми – розвиток наукових основ визначення характеристик перспективних маневрових тепловозів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробити концепцію створення перспективних маневрових тепловозів з електричною передачею з урахуванням всього життєвого циклу, системи ЕТОР і світового технічного рівня;
- розглянути еволюцію розвитку маневрових тепловозів у відповідності до їх характеристик;
- зробити аналіз визначення характеристик та методів оцінки технічного рівня рухомого складу та розробити моделі прогнозування характеристик маневрових тепловозів з метою визначення типу маневрових тепловозів для умов експлуатації на залізницях України;
- отримати залежності характеристик технічного рівня і потужності для визначення їх раціональних значень для перспективних маневрових тепловозів з електричною передачею;
- розробити новий метод оцінки технічного рівня маневрових тепловозів з електричною передачею та їх підсистем;
- науково обґрунтувати раціональний технічний рівень та основні типи модулів та вузлів маневрового тепловоза на основі сучасних вимог;
- розробити наукові підходи до визначення надійності маневрових тепловозів з використанням математичних моделей;
- запропонувати систему критеріїв для оцінки пристосованості маневрових тепловозів до експлуатації;
- науково обґрунтувати вибір системи експлуатації, обслуговування та ремонту нових маневрових тепловозів на етапі проектування для забезпечення стабільності характеристик локомотивів на протязі всього життєвого циклу;
- розробити модель оновлення парку маневрових тепловозів, які виробили свій ресурс.

Об'єкт дослідження – маневровий тепловоз з електричною передачею.

Предмет дослідження – характеристики маневрового тепловоза з електричною передачею.

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

Наукова новизна отриманих результатів

Вирішена науково-прикладна проблема визначення характеристик маневрових тепловозів з електричною передачею, яка враховує наукове обґрунтування життєвого циклу, вплив переходу на нові системи ЕТОР,

адаптацію до регіону експлуатації, що дозволить значно скоротити експлуатаційні витрати.

Вперше:

- створено концепцію, що узагальнює визначення науково - обґрунтованих характеристик і розвиває принципи побудови маневрових тепловозів з урахуванням умов експлуатації, світового технічного рівня, системи обслуговування та ремонту, зниження витрат за весь життєвий цикл, модульного підходу їх компонування та особливостей промисловості і залізниць України;
- розроблено комплекс моделей визначення характеристик маневрових локомотивів на основі стохастичного програмування з урахуванням життєвого циклу;
- розроблено метод оцінки технічного рівня маневрових тепловозів та його складових на основі системного аналізу;
- отримані залежності показників маневрових тепловозів з електричною передачею від потужності, вартості життєвого циклу, років експлуатації, технічного рівня;
- сформовано критерії оцінки пристосованості маневрових тепловозів до різних умов експлуатації.

Дістали подальшого розвитку:

- імітаційна модель визначення раціональних термінів оновлення парку маневрових тепловозів;
- моделі прогнозування характеристик маневрових тепловозів з електричною передачею на основі нейромереж;
- стратегія вибору модулів локомотивів з використанням морфологічного аналізу;
- метод визначення вартості життєвого циклу, який, на відміну від існуючих, враховує технічний рівень маневрових тепловозів;
- удосконалено методи визначення надійності маневрових тепловозів на етапі проектування імовірнісної моделі із застосуванням напівмарковських процесів.

Практичне значення одержаних результатів

Результати роботи впроваджено:

- у ВАТ ХК „Луганськтепловоз” при розробленні та впровадженні вітчизняних маневрових тепловозів типу ТЕМ-103 та ТЕМ-104;
- у Державному науково-дослідному центрі залізничного транспорту України при прогнозуванні типажу нового ТРС;
- у Державній адміністрації залізничного транспорту України при узгодженні типажу ТРС та методів їх випробувань;
- у навчальний процес підготовки спеціалістів і магістрів Української

державної академії залізничного транспорту та Інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації,

і вони включають до себе:

- інформаційну систему оцінки технічного рівня маневрових тепловозів з відповідними пакетами прикладних програм, яка дозволяє розраховувати технічний рівень будь-якого маневрового тепловоза і в подальшому використовувати ці дані для визначення системи ЕТОР, доцільності закупівлі та використання локомотива у вибраному регіоні експлуатації;
- пакет прикладних програм на основі моделі прогнозування техніко-економічних параметрів маневрових тепловозів за їх питомими характеристиками;
- моделі визначення надійності маневрового тепловоза;
- адаптивну модель визначення системи експлуатації, технічного обслуговування та ремонту маневрових тепловозів;
- моделі техніко-економічних розрахунків маневрових тепловозів.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами та матеріалами впровадження.

Особистий внесок здобувача

У працях, які написані у співавторстві дисертанту належить:

[11, 13, 27, 28, 30, 32, 36] – розроблення моделей та програм розрахунку показників надійності рухомого складу та його складових;

[4, 5, 9, 14, 20, 31] – розроблення моделей та розрахунки показників економічної ефективності від використання маневрових локомотивів та його складових;

[3, 18] – розрахунки вартості життєвого циклу маневрових тепловозів;

[29, 38] – зроблений аналіз можливості використання маневрових тепловозів в приміському русі;

[19, 37] – розроблення методів, моделей та програм розрахунку технічного рівня тягового рухомого складу та його складових;

[2, 41] – визначення алгоритму випробувань рухомого складу та його складових;

[8, 10, 22, 43] – визначення параметрів системи обслуговування для перспективних маневрових локомотивів;

[23, 25, 39, 40, 42] – розроблення моделей, програм розрахунку та отримання залежностей основних характеристик для маневрових тепловозів.

Апробація результатів дисертації. Основні матеріали і результати дисертаційної роботи доповідалися й отримали схвалення на 17 міжнародних та 3 галузевих науково-технічних конференціях:

- X-й міжнародній конференції „Проблеми механіки залізничного транспорту: Динаміка, надійність і безпека рухмого складу” (Україна, м. Дніпропетровськ, 2000 р.);
- IV-й науково-технічній конференції „Ресурсозберігаючі технології на залізничному транспорті” (Росія, м. Москва, 2001 р.);
- III-й міжнародній науково-практичній конференції „Актуальні проблеми розвитку транспортних систем і будівельного комплексу” (Білорусія, м. Гомель, 2001 р.);
- XIII, XIV, XV міжнародних науково-технічних конференціях “Проблеми розвитку рейкового транспорту” (Україна, Крим, 2003 - 2005 рр.);
- VII-й міжнародній науково-практичній конференції «Наука і освіта 2004» (Україна, м. Дніпропетровськ, 2004 р.);
- 61 - 67 міжнародних науково-технічних конференціях кафедр Української державної академії залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (м. Харків, 1998 – 2005 рр.);
- міжнародному форумі SEC 2005 “Cooperation of Technical Universities of the Middle and Eastern European countries in the VI and VII Framework Programmer for the scientific and education project realization” (Poland, Katowice, 2005);
- Міжнародній науково-практичній конференції «Наука в транспортному вимірі» (Україна, м. Київ, 2005 р.);
- 18-й міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні системи управління на залізничному транспорті, промислового і міському господарстві» (Україна, Крим, м. Алушта, 2005 р.);
- другій та третій науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем : Техніка, технологія, економіка і управління» (Україна, м. Київ, 2004, 2005 р.);
- I-й науково-практичній конференції «Впровадження наукоємних технологій на магістральному і промислового залізничному транспорті» (Україна, Крим, Алушта, 2005 р.).

Основні положення дисертації доповідались на засіданнях кафедри з 2001 по 2004 рр., а повністю дисертація доповідалась на розширеному засіданні кафедри ЕРРС УкрДАЗТ з участю членів спеціалізованої вченої ради (2005 р.).

Публікації. Основні результати дослідження опубліковані в 43 наукових працях. З них 28 статей у виданнях, які затверджені ВАК України як фахові, а також в 15 додаткових працях. 13 праць опубліковано без співавторів.

Структура роботи. Дисертаційна робота має вступ, шість розділів, висновки, список використаної літератури та додатки. Повний обсяг дисертації складає 373 сторінки, в тому числі 267 сторінок основного тексту, 28 таблиць, 40 рисунків, список використаної літератури включає 291 найменування на 32 сторінках, 7 додатків на 51 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подана загальна характеристика роботи, доведена її актуальність і зв'язок з науковими програмами та темами, сформульована мета роботи, визначені її наукова новизна і практична цінність.

У першому розділі зроблений аналіз робіт по визначенню характеристик маневрових локомотивів, оцінці їх технічного рівня і методів розрахунку.

Входження України до світового співтовариства з ринковими відносинами, проведення реструктуризації локомотивного господарства викликає необхідність методичного і наукового обґрунтування використання існуючого парку маневрових тепловозів, їх модернізації, а також доцільності створення нового рухомого складу. Питанням визначення показників локомотивів, оцінці їх технічного рівня приділяється багато уваги. Фундаментальні дослідження в цьому напрямку виконувались і виконуються як в наукових організаціях, особливо таких, як ВНДІЗТі, ВЗДІТі, МІТі, ЛІЗТі, ОмІТі, РІЗТі, СамІЗТі, ДІТі, СНУ ім. В.Даля, НТУ «ХП», КУЕТТі, ХІТі, та ін., так і на виробничих підприємствах ВАТ ХК «Луганськтепловоз», ВО «Завод ім. Малишева», ДЕВЗ, Брянському ТБЗ (Росія), Коломенському ТБЗ (Росія) та ін. Дані роботи виконувались під керівництвом таких вчених, як Басов Г.Г., Боднар Б.Є., Босов А.А., Блохін Є.П., Браташ В.О., Володін О.І., Гетьман Г.К., Голубенко О.Л., Головка В.Ф., Дьомін Ю.В., Кельрих М.Б., Коссов Є.Є., Кудряш А.П., Кузнєцов Т.Ф., Маслієв В.Г., Міщенко К.П., Осенін Ю.І., Тартаковський Е.Д., Ткаченко В.П., Четвергов В.А. та інших.

Аналіз понад 140 серій маневрових тепловозів, які експлуатуються у світі, показав, що в невеликих країнах використовуються тепловози з одним типом передач. Так, в Боснії, Хорватії, Греції, Фінляндії використовуються тепловози з гідропередачею, а в Іспанії, Албанії, Болгарії з електричною передачею. В розвинутих країнах, таких, як Німеччина, в маневровій роботі використовуються тепловози як з гідравлічною, так і з електричною передачами. За роками випуску в Європі знаходяться локомотиви ще 1940-1950 років побудови. Новий рухомий склад закупається в основному

партіями по 10-50 одиниць однієї серії, що з економічної точки зору більш доцільно.

Аналіз еволюції розвитку маневрових локомотивів показав збільшення сили тяги, як при зрушенні, так і тривалої, за рахунок використання передач змінного струму з асинхронними тяговими двигунами, використання модульної системи компоновання.

Проблемі вибору раціонального ряду потужностей ТРС на протязі всього його розвитку приділяється багато уваги. Найбільш важливі результати у визначенні раціональних рядів локомотивів отримані під керівництвом таких відомих вчених, як Браташ В.О., Басов Г.Г., Гетьман Г.К., Гривнак А.Я., Міщенко К.П. та ін. Аналіз типу рухомого складу залізниць показав, що в основному існує два підходи до його вибору. Компанії-виробники рухомого складу, як правило, виконують групування за видами рухомого складу і за осью формулою, намагаючись розробити конкурентоспроможну одиницю рухомого складу. Компанії, які займаються перевезеннями, виконують групування рухомого складу за такими критеріями: за потужністю; за видами роботи локомотивів; за видом струму; за видом пасажирських перевезень; за кількістю секцій в локомотиві; за кількістю кабін керування та ін. Для визначення кількості груп типу використовують в основному два методи: методи відношення Парето і експертні методи.

Однією із сторін якості локомотива є його технічний рівень. Аналіз різноманітних методів визначення технічного рівня транспортних засобів, а також проведений аналіз літературних джерел показав, що до теперішнього часу оцінці технічного рівня маневрових тепловозів приділяється недостатньо уваги. Підтвердженням цьому є і кількість праць, присвячених визначенню технічного рівня маневрових тепловозів, яка значно менша, ніж щодо визначення рівня інших транспортних засобів. У зв'язку з цим доцільно розробити методи оцінки технічного рівня маневрових тепловозів, які врахували б мету дослідження, а також більш глибоко технічну їх сторону.

Аналіз визначення характеристик рухомого складу показав, що вихідними даними для розрахунків маневрових локомотивів є або обсяги маневрових робіт, або дані по гірці. Але при цьому не враховується стохастичний характер багатьох його характеристик на протязі всього життєвого циклу, відповідність їх світовому рівню, система ЕТОР, вартість їх життєвого циклу та інші чинники.

Згідно з вищевикладеним, в першому розділі сформульовані мета і задачі дисертації.

Другий розділ присвячений розробленню наукових основ визначення характеристик маневрових тепловозів для залізниць України. В ньому розроблені моделі розрахунку та прогнозування техніко-економічних характеристик маневрових тепловозів з електричною передачею.

На основі результатів аналізу зарубіжних та вітчизняних праць, заходів по проектуванню та виготовленню нового рухомого складу була розроблена концепція створення перспективних маневрових тепловозів для залізниць України. Вона полягає в тому, що створення маневрових локомотивів необхідно виконувати на основі визначення характеристик з урахуванням умов експлуатації, світового технічного рівня, системи обслуговування та ремонту на протязі всього життєвого циклу, модульного принципу їх побудови і особливостей промисловості та залізниць України. Відмінністю її є те, що в існуючих концепціях створення відбувається на основі вітчизняного обладнання під існуючу систему обслуговування та ремонту, а звідси уже і виконувалось визначення характеристик. Послідовність реалізації запропонованої концепції підрозділяється на два етапи. На першому - визначаються характеристики перспективного типу маневрових тепловозів. Для цього виконуються та визначаються:

1. Збір даних по маневровим тепловозам виробництва різних компаній.
2. Метод визначення технічного рівня маневрових тепловозів.
3. Технічний рівень та його динаміка для маневрових тепловозів.
4. Раціональний технічний рівень на заданий період.
5. Залежності показників локомотивів з урахуванням зміни технічного рівня.
6. Прогноз параметрів для перспективних маневрових тепловозів.

На другому етапі визначаються характеристики нового маневрового тепловоза з урахуванням регіону експлуатації, вартості життєвого циклу та особливостей України. Для цього виконуються та визначаються:

7. Технічний рівень існуючих маневрових тепловозів з використанням системного підходу.
8. Оптимальний технічний рівень маневрового тепловоза з урахуванням вартості його життєвого циклу.
9. Прогноз характеристик перспективних маневрових тепловозів з урахуванням вартості їх життєвого циклу.
10. Вибір вузлів та агрегатів для маневрового тепловоза, які б задовольняли визначений технічний рівень.
11. Система ЕТОР і її характеристики.

Спочатку був визначений характер показників (детермінований або стохастичний) на протязі всього життєвого циклу. Основні положення про життєвий цикл висвітлені як в нормативній документації, так і в наукових

статтях. Під життєвим циклом локомотива ($T_{жц}$) будемо розуміти сукупність етапів його існування: стадій виробництва (проектування, побудова, випробування) t^I , експлуатації t^{II} та утилізації t^{III} .

На першому етапі життєвого циклу маневрового локомотива обирається концепція побудови, виконуються дослідні, дослідно-конструкторські і проектні роботи, здійснюється підготовка і організація виробництва. Другий етап включає до себе роботу локомотива в експлуатації, його технічне обслуговування і ремонт. Третій етап – це зняття маневрового тепловоза з експлуатації та його утилізація.

Вибір і забезпечення значень характеристик маневрового тепловоза на протязі всього життєвого циклу залежить від багатьох факторів: кліматичних умов, регіону експлуатації, обсягів робіт, надійності вузлів, прийнятої системи ТО та ПР та ін., які не є постійними. Тому однозначно визначити ці показники існуючими методами неможливо. Але в наведеній постановці дана задача є задачею стохастичного програмування.

Процес визначення показників маневрового тепловоза на весь життєвий цикл (рис.1) в умовах невизначеності та ризику до накопичення інформації про всі вихідні дані можна розбити на вісім етапів та дев'ять станів: $S = \{S_i\} = \{S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8, S_9\}$. При цьому кожний стан характеризується своїм вектором показників маневрових тепловозів $e_{\xi} = \{e_i\}$ та вектором значень показників маневрових тепловозів $x = \{x_i\}$.

В результаті обробки даних локомотивобудівельної промисловості по створенню нового рухомого складу всі характеристики маневрового тепловоза умовно розділені на три групи: в першу групу увійшли показники, значення яких є детермінованими (габаритні розміри, мінімальний радіус кривих); в другу групу увійшли показники, значення яких є стохастичними, але з відповідним припущенням їх можна вважати на відповідних стадіях детермінованими (вага локомотива, максимальна та розрахункова швидкості); в третю групу увійшли показники, значення яких є незалежно від етапу експлуатації стохастичними (потужність, сила тяги, ціна тепловоза, вартість життєвого циклу, строк служби). Результати визначення виду показників на протязі всього життєвого циклу показали, що починаючи з відповідного етапу показники мають детермінований характер (табл. 1).

Таблиця 1

Стан	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Показник	$n_{осей}$	R	L, B, H	$P_{л}, V_{max}, V_{\infty}, N_e$	$\zeta_{л}$	-	-	-	-

Примітка: $T_{сл}$, $\zeta_{жц}$ на всіх етапах життєвого циклу мають стохастичний характер.

В табл.1 позначено: $n_{осей}$ - кількість осей в локомотиві; R – мінімальний радіус кривих щодо вписування, м; L, B, H - довжина, ширина і висота локомотива відповідно, м; P_l - вага локомотива; V_{max} - максимальна швидкість локомотива, км/год; V_{∞} - швидкість тривалого режиму, км/год; N_e – потужність локомотива, кВт; C_l - вартість локомотива, грн.; $T_{сл}$ - строк служби, роки; $C_{жц}$ - вартість життєвого циклу, грн.

Для реалізації концепції були розроблені наукові основи по визначенню показників маневрових тепловозів, які можна підрозділити на два етапи. На першому етапі були визначені показники маневрових тепловозів з урахуванням світового досвіду локомотивобудування. Оскільки переважна кількість їх має стохастичний характер, і відповідно їх неможливо розрахувати за відомими формулами, були розроблені моделі для їх визначення.

Перша модель являє доопрацьовану модель прогнозування за питомими параметрами. Суть її полягає в наступному. Спочатку методом таксонів, який відноситься до методів теорії розпізнавання образів, тепловози були розбиті за трьома критеріями на групи: за критерієм вісності згруповані в п'ять груп (2, 3, 4, 6, 8 вісні локомотиви); за критерієм ефективної потужності на три групи (до 400 к.с., від 400 до 800 к.с., від 800 до 1200 к.с. та більше 1200 к.с.); за критерієм питомої сили тяги у чотири групи (0,171; 0,220; 0,274 та 0,307 кН/кВт).

Для цих груп отримані залежності різних показників тепловоза від потужності. Оскільки був зібраний матеріал по маневрових локомотивах більш ніж 140 серій, то для більш точного розрахунку невідомі коефіцієнти знаходились за допомогою методу найменших квадратів, тобто цільовою функцією є:

$$\sum_{i=1}^n [N_{e_i} - f(e_i, a_0, a_1, \dots, a_n)]^2 \Rightarrow \min \quad (1)$$

При цьому були введені обмеження:

$$OgrM_1 = \left\{ \begin{array}{l} 200 \leq N_e \leq 2000; \quad P_{oc} \leq 25; \quad n_{oc} = const; \\ -40^0 C \leq T \leq +40^0 C; \quad 1950 \leq t_{пок} \leq 2005 \end{array} \right\} \quad (2)$$

Перевірка значущості отриманих залежностей виконувалася за допомогою відомого кореляційного відношення R . Для прогнозування обирались ті залежності, в яких R було найбільшим за значенням. При цьому обов'язковою умовою було $R > 0,75$. Отримані залежності для

прогнозування показників чотиривісного маневрового тепловоза з електричною передачею наведені в табл.2.

Таблиця 2

Показник	Залежність для прогнозування	R ²	Критерій груп-ння
Сила тяги, кН			
- рушення	$F_{\text{дот}} = 5 \cdot 10^{-5} N_e^2 - 0,0296 N_e + 241,64$	0,8447	2
- тривалого реж.	$F_{\text{тр}} = 4 \cdot 10^{-5} N_e^2 - 0,022 N_e + 179,01$	0,8449	2
Маса, т	$P = 2 \cdot 10^{-5} N_e^2 - 0,0098 N_e + 81,77$	0,8435	2
Навантаження на вісь, тс	$P_{\text{вісь}} = -5 \cdot 10^{-6} N_e^2 + 0,0174 N_e + 11,728$	0,8488	1
Швидкість, км/год			
- максимальна	$V_{\text{мах}} = 2 \cdot 10^{-5} N_e^2 - 0,0091 N_e + 99,965$	0,8401	2
- тривалого реж.	$V_{\text{трив}} = -7 \cdot 10^{-7} N_e^2 + 0,0065 N_e + 1,8107$	0,9411	1
Мінімальний радіус кривих, м	$R_{\text{мін}} = -4 \cdot 10^{-5} N_e^2 + 0,092 N_e + 5,1579$	0,9321	2
Запас палива, кг	$Q_{\text{пал}} = -0,0025 N_e^2 + 8,4271 N_e - 1012,9$	0,9954	1
Запас піску, кг	$Q_{\text{пск}} = -5 \cdot 10^{-6} N_e^2 + 1,5803 N_e - 13,497$	0,9988	1
Довжина, м	$S = -3 \cdot 10^{-6} N_e^2 + 0,0082 N_e + 9,6114$	0,7830	3
Ширина, м	$L = -4 \cdot 10^{-7} N_e^2 + 0,0009 N_e + 2,656$	0,6190	2
Висота, м	$H = -6 \cdot 10^{-7} N_e^2 + 0,0014 N_e + 3,5014$	0,6120	1

При наявності необхідної вибірки локомотивів більш ефективною є друга модель. Технічний рівень характеризується своїм вектором показників маневрових тепловозів $e_{TP\xi} = \{e_{TPi}\}$, вектором значень показників маневрових тепловозів $x_{TP} = \{x_{TPi}\}$, вектором вагових коефіцієнтів $q_{\xi} = \{q_i\}$ та вектором ймовірності не змінення цього показника у вибраному стані $p = \{p_i\}$.

Критерій технічного рівня маневрових тепловозів має вигляд:

$$K_{mp} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot e_{TPi} \cdot p_i . \quad (3)$$

Показники, які характеризують тепловоз у маневровій роботі, були вибрані з використанням теорії множин. При цьому вектор цих показників

представлений в такому вигляді

$$e_{\xi} = \{F_{TP}, F_{\infty}, v_{\infty}, N_e, T_{CL}, g_e, k_{NeMT}, P_{oc}, R_{min}, V_{MT}\}, \quad (4)$$

Для визначення вагових коефіцієнтів цих показників був використаний експертний метод, який дозволив визначити такі значення:

$$q_{\xi} = \{0,15; 0,15; 0,07; 0,09; 0,1; 0,011; 0,1; 0,1; 0,05; 0,08\}. \quad (5)$$

Ймовірність не змінення усіх показників прийнята 1,0. Потім для кожної групи за обраними раніше критеріями та за двома – трьома були отримані залежності показників маневрового тепловоза від технічного рівня.

Для прогнозування технічного рівня чотиривісних маневрових тепловозів з електричною передачею була отримана залежність зміни технічного рівня від років, яку можна представити в такому вигляді:

$$K_{TP} = 0,9793 + 0,0023t + 2 \cdot 10^{-5} t^2. \quad (6)$$

Розрахунковий приріст коефіцієнта технічного рівня маневрових тепловозів на період 10 років знаходиться в межах 0,02...0,04 (рис. 2).

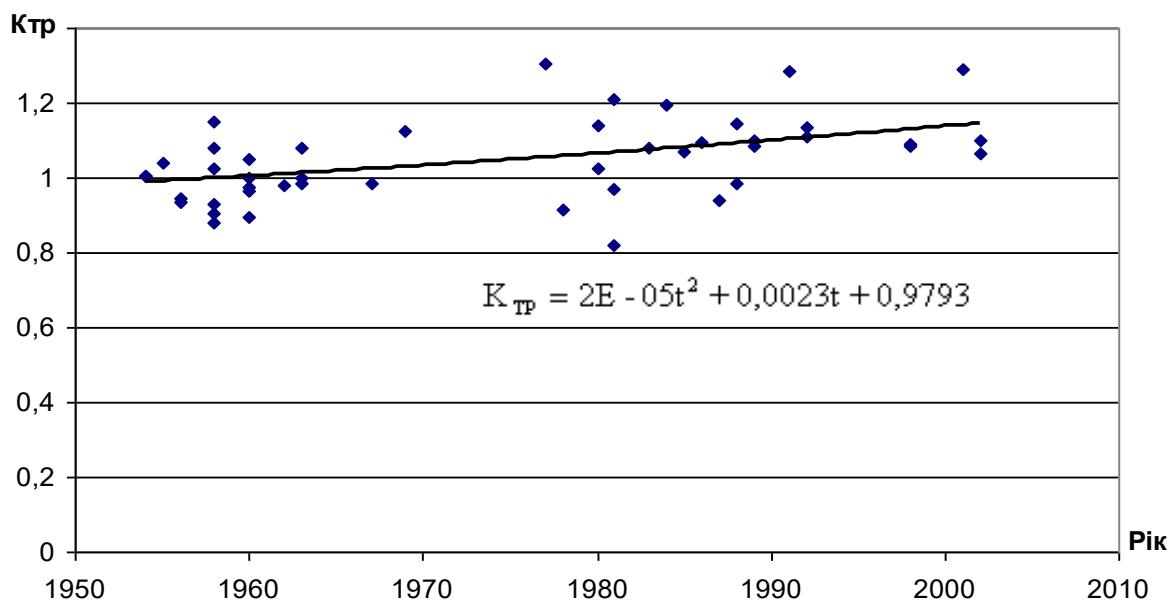


Рис. 2. Залежність технічного рівня маневрових тепловозів від років побудови

Для три-, шестивісних та в взагалі для всіх маневрових тепловозів з урахуванням відповідних обмежень були отримані залежності зміни технічного рівня від років аналогічним чином.

$$K_{\text{ТехПів}}^3 = -0,0004t^2 + 1,3981t - 1392,3, \quad (7)$$

$$K_{\text{ТехПів}}^6 = 3 \cdot 10^{-05} t^2 - 0,1313t + 130,07, \quad (8)$$

$$K_{\text{ТехПів}} = 9 \cdot 10^{-05} t^2 - 0,3359t + 330,69. \quad (9)$$

Для врахування зміни значень технічного рівня маневрових тепловозів з електричною передачею в часі була розроблена альтернативна модель. Приймаючи показники детермінованими, технічний рівень усіх маневрових тепловозів розраховуємо за формулою (5). Потім для кожної групи за обраними раніше критеріями з використанням нейронних мереж будуються моделі для прогнозування. Спочатку задається функція K_{TP} , яка характеризує технічний рівень локомотива в даний рік побудови у визначеному інтервалі $[t_0, t_1]$, де t_0, t_1 – відповідно початковий та кінцевий моменти часу, в інтервалі якого розглядається технічний рівень локомотивів. Прогнозування виконується для значення технічного рівня в точці $t > t_1$, тобто в момент часу ($t_1 + \Delta t$), де Δt - прогнозний період. Для цього будується нейромережа, яка має k_1 входів та k_2 виходів. В якості вхідного вектора був взятий вектор K_{TP} , компоненти якого представлені часовим рядом, який представляє значення технічного рівня маневрових тепловозів на інтервалі часу $[t_0, t_1]$

$$K_{TP} = \left\{ \begin{array}{l} k_{TP1} = f(t_1), \\ k_{TP2} = f(t_1 + \Delta t_1), \\ k_{TP3} = f(t_1 + \Delta t + \Delta t_2), \\ \dots\dots\dots \\ k_{TPk_1} = f(t_1 + \Delta t_1 + \dots + \Delta t_{k_1}), \end{array} \right\}. \quad (10)$$

Основною вимогою до вхідних даних при цьому є їх стаціонарність, яка характеризується для часових рядів однойменністю законів їх розподілів, тобто

$$S = \int_{-\infty}^{+\infty} \min [p_{OB}(\{K_{TP}\}); p_{KB}(\{K_{TP}\})] dk_{TP} = 1, \quad (11)$$

та несуперечливість, тобто, щоб набори, які входять до складу як навчальної, так і контрольної вибірки, не суперечили один одному.

Вихідний вектор $K_{TP\text{прог}}$ являє собою множину змінних, яка є

підмножиною змінних вхідного сигналу, тобто значення якого було спрогнозовано на Δt_i прогнозний період. При прогнозуванні був взятий інтервал $[t_0=1950, t_1=2004]$ з $\Delta t = 10$ рокам. Отримане прогнозне значення коефіцієнта технічного рівня дорівнює 1,31.

На основі розроблених вище моделей та отриманих залежностей були зроблені розрахунки основних характеристик перспективного типу маневрових тепловозів для залізниць України, який затверджено наказом Укрзалізниці. Як показав аналіз робіт у світовій і вітчизняній практиці використовуються дво-, три-, та чотиривісні візки, тому з урахуванням обсягів і виду маневрової роботи на залізницях України більш доцільно використовувати чотири групи маневрових тепловозів.

В третьому розділі. були розроблені функціональні і структурні схеми маневрових тепловозів (рис.3) та на основі виконаних досліджень системний метод оцінки технічного рівня маневрових тепловозів. Після цього з використанням морфологічного аналізу були вибрані основні вузли маневрового тепловоза.

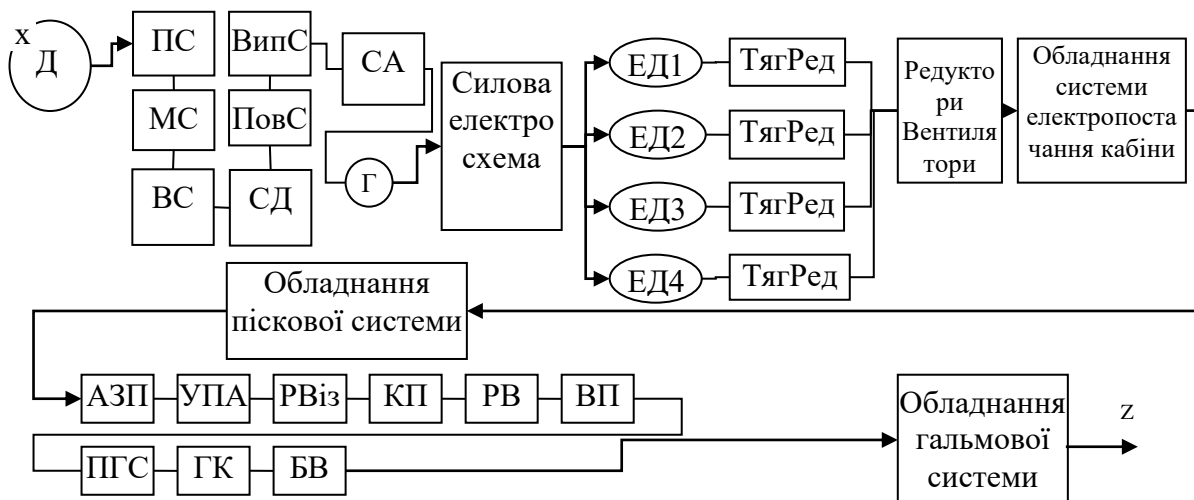


Рис.3. Структурна схема чотиривісного маневрового тепловоза з електричною передачею

Аналіз прийнятої номенклатури показників технічного рівня маневрових тепловозів показав, що вони в недостатній мірі враховують всі технічні сторони локомотива. Для врахування всіх цих сторін були виділені основні структурні елементи локомотива і їх зв'язок між собою $A = \{A_i\}$, де A_i – i -та підсистема локомотива.

Взаємний вплив між багатьма елементами підсистем та їх вузлами невідомий, тобто невідомо, як їх взаємна дія буде впливати на технічний рівень маневрового локомотива. Тому в результаті виконаних досліджень при наявності обмежених вихідних даних можна припустити, що

підсистеми взаємно незалежні. Тоді комплексний коефіцієнт технічного рівня розраховується за формулою

$$K_{TexPiv} = \sqrt[m_1]{\prod_{i=1}^{m_1} K_i}, \quad (12)$$

де m_1 – кількість підсистем, які виділені в локомотиві;

K_i – коефіцієнти технічного рівня i -ої підсистеми;

У свою чергу, кожна підсистема A_j складається з A_{ij} елементів. При цьому кожний з елементів A_{ij} характеризується своїми технічними параметрами $A_{ij} = \{P_{ijk}\}$. Коефіцієнти технічного рівня i -ої підсистеми розраховуються з використанням бального методу за формулою

$$K_i = \frac{\sum_{j=1}^m K_{ij}^H}{\sum_{j=1}^m K_{ij}^B}, \quad (13)$$

де m – кількість модулів та вузлів в i -тій підсистемі локомотива;

K_{ij}^H, K_{ij}^B – бальні коефіцієнти технічного рівня j -го вузла i -ої підсистеми відповідно нового локомотива і базового, або методу вагових коефіцієнтів

$$K_i = \sum_{j=1}^m q_{ij} K_{ij} = \sum_{j=1}^m q_{ij} \frac{k_{ij}^H}{k_{ij}^B}, \quad (14)$$

де q_{ij} - ваговий коефіцієнт j -го вузла (модуля) i -ої підсистеми локомотива;

k_{ij}^H, k_{ij}^B – значення технічного параметра j -го вузла i -ої підсистеми відповідно нового локомотива і базового.

З використанням розробленого методу був оцінений технічний рівень складових маневрового тепловоза. За базовий був прийнятий тепловоз серії ЧМЕ2. Результати розрахунків технічного рівня маневрового тепловоза ТЕМ103 та локомотива російського виробництва ТЕМ21 розробленим методом з використанням системного аналізу наведені в табл.3.

Технічний рівень маневрового тепловоза з урахуванням регіону експлуатації пропонується визначати за формулою

$$K_{TexPiv}^{reg} = K_{TexPiv} K_f = K_f \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n K_i}, \quad (15)$$

де K_f – поправочний коефіцієнт, який враховує регіон експлуатації тепловоза.

Таблиця 3

Визначення технічного рівня маневрових тепловозів методом з використанням системного аналізу

І рівень підсистеми	Приріст технічний рівня по відношенню до базового	
	ТЕМ103	ТЕМ21
Дизель і його підсистеми	+0,01	+0,08
Передача	+0,04	+0,17
Ходова частина	+0,01	+0,02
Допоміжне обладнання	+0,05	+0,10
Локомотив в цілому	+0,10	+0,26

З використанням морфологічного аналізу були вибрані вузли маневрового тепловоза. Для цього спочатку були визначені структура і границі проблеми, яка досліджується, і в якості морфологічного простору була обрана матриця розмірністю $m \times n$. Потім в області можливих рішень були заповнені «пусті зони» морфологічного простору. Після цього було виконано ранжирування отриманих рішень згідно з прийнятим критерієм і, використовуючи випадкові вибірки із загальної сукупності рішень, а також вибірки на основі використання ознак формальної близькості відомих рішень, які формуються навколо них, були вибрані основні серії вузлів.

На основі розроблених методів та моделей оцінки технічного рівня маневрових тепловозів була розроблена інформаційна система з відповідним пакетом прикладних програм. Вона дозволяє розрахувати технічний рівень маневрових тепловозів методами вагових коефіцієнтів, методом функції бажаності, індексним методом та системним методом.

В **четвертому розділі** запропонована модель визначення характеристик локомотивів, при розробленні якої вибір і забезпечення значень показників маневрового тепловоза залежить від багатьох відомих факторів: кліматичних умов, регіону експлуатації, обсягів робіт, надійності вузлів, прийнятої системи ТО та ПР та ін., які не є постійними.

Оскільки більша частина характеристик маневрового тепловоза має стохастичний характер, то модель визначення показників маневрового тепловоза подамо у вигляді багатоетапної стохастичної моделі з обмеженнями за ймовірністю:

$$C_{жц}(e) = P\{ce + z^*(A, b, e^o)(b - Ae)\} \rightarrow \min, \quad (16)$$

$$e \in K,$$

де $C_{жц}(e)$ - функція вартості життєвого циклу; x - вектор показників маневрового тепловоза попереднього плану (1 етап); c - вектор затрат плану 1-го етапу; z^* - множина показників плану - компенсації; $A = A(\omega)$ - випадкова технологічна матриця попереднього плану; $b = b(\omega)$ - випадковий вектор обмежень; K - випукла багатогранна множина.

Оскільки вибір раціонального технічного рівня маневрового тепловоза з електричною передачею для залізниць України, а відповідно і його характеристик має оптимізаційний характер, то за цільову функцію прийнята сумарна вартість життєвого циклу

$$C_{жц}(K_{ТехРів}, m_{ij}, t_N, k_{роб}, t_l) = C_{Виробн}^I(K_{ТехРівij}, m_{ij}, t_N) + C_{ЕТОР}^{II}(K_{ТехРів}, m_{ij}, t_l) + C_{Соц/ек}^{II}(K_{ТехРів}, Q_{нал}, t_N) + C_{Утил}^{III}(Q_{мт}, Q_{км}, T_{жц}) \Rightarrow \min \quad (17)$$

Обмеженнями є особливості експлуатації залізниць України

$$OgrUK = \{(v_{zip} \leq 5), (v_{cm} \leq 60), (Poc < 245), (L_{КОЛ} = 1520), (-30^0 C \leq t \leq +40^0 C)\} \quad (18)$$

та додаткові

$$OgrGC = \{(t_I \leq 2, t_{II} \geq 20, t_{III} < 1), (K_{ТехРів} \geq 1), (Poc < 245), (\sum_{i=1}^I E_{жц} \geq C_{мл})\}. \quad (19)$$

У свою чергу перша функція характеризує перший етап життєвого циклу і залежить від рівня науково-виробничого об'єднання, який проектує та виготовляє маневровий тепловоз, і вибору оптимальної стратегії. Вона визначає ціну локомотива і її можна розкласти на складові:

$$C_{Виробн}^I(K_{ТехРівij}, m_{ij}, t_N) = C_{констр}^I(K_{ТехРів}, K_{констр}, t_l) + C_{виз}^I(K_{ТехРів}, K_{визот}, t_l) + C_{Випр}^I(K_{ТехРів}, K_{випроб}, t_l) + C_{доводки}^I(K_{ТехРів}, K_{доводки}, t_l) \quad (20)$$

Відповідно до досліджень Басова Г.Г., перша складова в основному залежить від кваліфікації конструкторів, друга визначається кваліфікацією технологів та робітників, третя - від ступеня новизни вузлів та деталей, а четверта - від рівня виробництва. При цьому всі складові залежать від часу та технічного рівня тепловоза, який розробляється. Тому вибір оптимальної стратегії на першому етапі життєвого циклу виконувався за критерієм мінімізації загального часу виконання робіт та максимізації технічного рівня тепловоза

$$\left\{ \begin{array}{l} t_I(t_{ii} K_{\text{TexPis}}, K_{\text{констр}}) \Rightarrow \min, \\ K_{\text{TexPis}}(t_{ii}, K_{\text{констр}}) \Rightarrow \max \end{array} \right\}, \quad (21)$$

$$OgrGC_{\text{летар}} = \left\{ (t_I \leq 2,), (K_{\text{TexPis}} \geq 1), (\sum_{i=1}^1 B_{\text{жЦлетар}} \leq \Pi_{\text{МП}}) \right\} \quad (22)$$

при обмеженні безпомилкового виконання і середнього часу переходу методом, який базується на алгоритмі Ховарда.

На основі моделі оптимізації випробувань був розроблений метод приймальних випробувань нового тягового рухомого складу, який затверджено наказом Укрзалізниці від 19.04.2005р. №130-ЦЗ.

Наступна функція характеризує витрати на локомотив на другому етапі життєвого циклу і визначається як

$$C_{\text{ЕТОР}}^{\text{II}}(K_{\text{TexPis}}, m_{ij}, t_N, k_{\text{роб}}, t_l) = C_{\text{Експл}}^{\text{II}}(K_{\text{TexPis}}, t_l) + C_{\text{Екіпір}}^{\text{II}}(K_{\text{TexPis}}, Q_{\text{Екін}}, m_{ij}, t_l) + \\ + C_{\text{ТОР}}^{\text{II}}(K_{\text{TexPis}}, m_{ij}, t_l) + C_{\text{РекГЧ}}^{\text{II}}(K_{\text{TexPis}}, m_{ij}, t_l) \quad (23)$$

Перша складова даної функції являє собою витрати за роботу локомотивних бригад

$$C_{\text{Експл}}^{\text{II}} = 1,15 \cdot 8760 \cdot Z_{\text{маши}} \cdot N_{\text{MT}}^{\text{експл}} \cdot k_1, \quad (24)$$

де $Z_{\text{маши}}$ – середня зарплата машиніста, грн; $N_{\text{MT}}^{\text{експл}}$ – кількість маневрових тепловозів в експлуатації, шт.; k_1 – поправочний коефіцієнт, який залежить від кількості локомотивної бригади та наявності в помічника машиніста прав керування тепловозом, $k_1 = \{1.0, 1.5, 1.8\}$.

Друга складова вказаної функції являє собою витрати на екіпіровку локомотивів

$$C_{\text{Екіпір}}^{\text{II}} = 1,11 \cdot 12 \cdot Z_{\text{екіпір}} \cdot c \cdot n_{z\text{min}} + 10^{-6} \cdot C_e \cdot N_e \cdot k_{Ne} \cdot \sum MT_{\text{ман}} \cdot \Pi_{\text{нал}} + \\ + \sum_i \sum MT_{\text{ман}} \cdot b_i \cdot \Pi_i \quad (25)$$

де c – кількість людей в бригаді по екіпіровці; $n_{z\text{min}}$ – кількість змін на добу; i – складові витрат на екіпіровці, $i = \{\text{масло, пісок, вода, матеріали}\}$; b_i – питомі витрати в маневровому русі відповідно масла, піску, води, матеріалів; Π_i – вартість 1т відповідно масла, піску, води, матеріалів.

У свою чергу штат бригад з екіпіровки та їх кількість залежить від парку локомотивів, системи обслуговування та трудомісткості робіт з обслуговування. Третя складова вказаної функції являє собою витрати на технічне обслуговування та поточні ремонти

$$C_{TOP}^{II} = 1,11 \cdot 12 \cdot \sum_j (c_j \cdot n_{z \min j} \cdot Z_{TOPrj} \cdot k_r \cdot \sum MH_{rj}) + \sum_j \sum M_j Q_j), \quad (26)$$

де Z_{TOPrj} – зарплата робітника на j -му ремонті по r -ій спеціальності, грн; j – види обслуговувань та ремонтів, $j = \{TO-3, PP-1, PP-2, PP-3, KP\}$; k_{rj} – відсоток розподілу робітників за професіями; $\sum MH_{rj}$ – трудомісткість ремонту, люд*год; Q_j – витрати на запасні частини та матеріали на j -му виді ремонту.

Четверта складова являє собою витрати на реконструкцію локомотивного депо під виконання ремонту нових тепловозів. Якщо вузли нового локомотива відрізняються від тих, які знаходяться в експлуатації, лише окремими наукоємними вузлами і ремонт цих вузлів буде виконувати сервісна група або завод-виробник, то затрати на реконструкцію депо будуть мінімальними і ними можна знехтувати для наших розрахунків.

Також в другий етап життєвого циклу входить складова від отримання соціально-екологічного ефекту

$$C_{Соц/ек}^{II} = \gamma \cdot \sigma \cdot f \cdot M, \quad (27)$$

де γ – константа, яка характеризує витрати через шкоду, заподіяну навколишньому середовищу, грн/умов.т.; σ – показник відносної безпеки забруднення повітря над територіями різних типів; f – поправка, яка враховує характер розсіювання домішок в атмосфері; M – приведена маса річних викидів забруднень із локомотива, умов.т/рік.

Третя функція являє собою витрати на утилізацію. Враховуючи дослідження Бабаніна О.Б., Батюшина І.Є. та припустивши, що тепловози за весь термін служби перепродаватись не будуть, можна припустити, що ця функція буде являти собою витрати, пов'язані з утилізацією локомотива.

Отже, вартість життєвого циклу буде являти таке рівняння:

$$C_{жц} = C_{л} (K_{ТехПів}) + \int_0^{t_p} (C_{Експл}^{II} (K_{ТехПів}, t_l) + C_{Експл}^{II} (K_{ТехПів}, Q_{Експл}, t_l) + C_{ТОР}^{II} (K_{ТехПів}, t_l) + C_{Соц/ек}^{II} (K_{ТехПів}, t_N) + C_{РекТЧ}^{II} (K_{ТехПів}, t_l)) \cdot (1 + E_p)^{-t} dt + C_{Утил}^{III} (Q_{лт}, Q_{км}, T_{жц}) \quad (28)$$

Вартість життєвого циклу маневрових тепловозів відповідної складності визначалась за розробленою моделлю розрахунковим методом. В результаті були отримані залежності витрат по роках для локомотивів різної складності (рис.4), а відповідно і різного технічного рівня. Розглядалися локомотиви таких варіантів: варіант 1 – маневровий локомотив ЧМЕ1; варіант 2 – маневровий локомотив з передачею змінно-

постійного струму та дизелем 10Д80; варіант 3 – маневровий локомотив з передачею змінно-постійного струму та дизелем Д49; варіант 4 – маневровий локомотив з передачею змінно-змінного струму; варіант 5 – маневровий локомотив з передачею змінно-постійного струму та дизелем MTU.

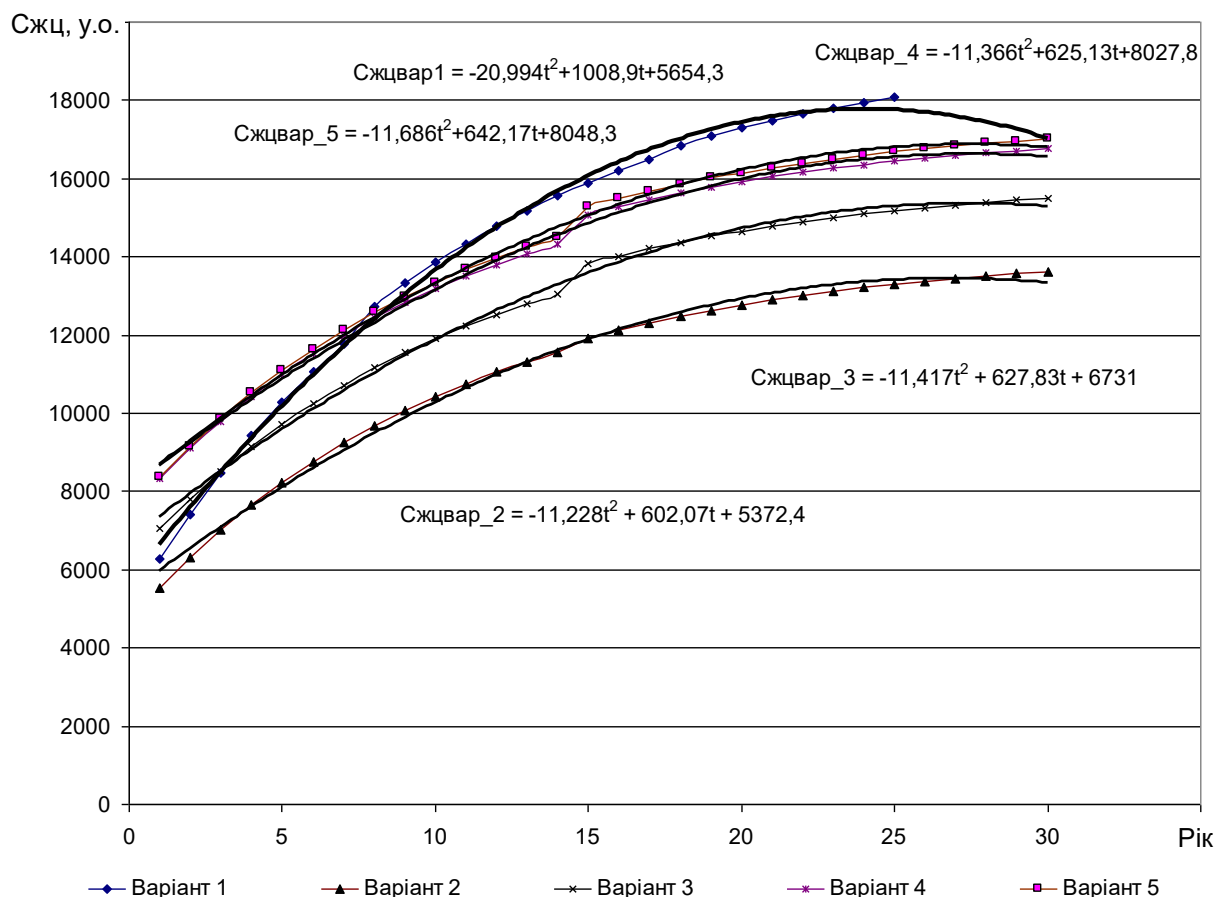


Рис. 4. Залежність вартості життєвого циклу від років експлуатації

Як свідчить цільова функція, вартість життєвого циклу маневрового тепловоза залежить не тільки від його технічного рівня, а і в значній мірі від фірми-виробника, кількості локомотивів, виду обслуговування, ремонтної бази та інших експлуатаційно-ремонтних факторів. Тому для визначення раціонального технічного рівня введені додаткові обмеження

$$OgrGC_{dodatk} = \left\{ \begin{array}{l} (N_{MT} = 50), (Планово - попереджувальна система ТОР), \\ (ремонт нових вузлів виконує сервісна група) \end{array} \right\}. \quad (29)$$

Взявши похідну по технічному рівню та прирівнявши її до нуля, отримаємо раціональний технічний рівень нового маневрового тепловоза за прийнятими обмеженнями дорівнює **1,19** з точністю 0,005 для тепловозу ТЕМ103 (рис.5).

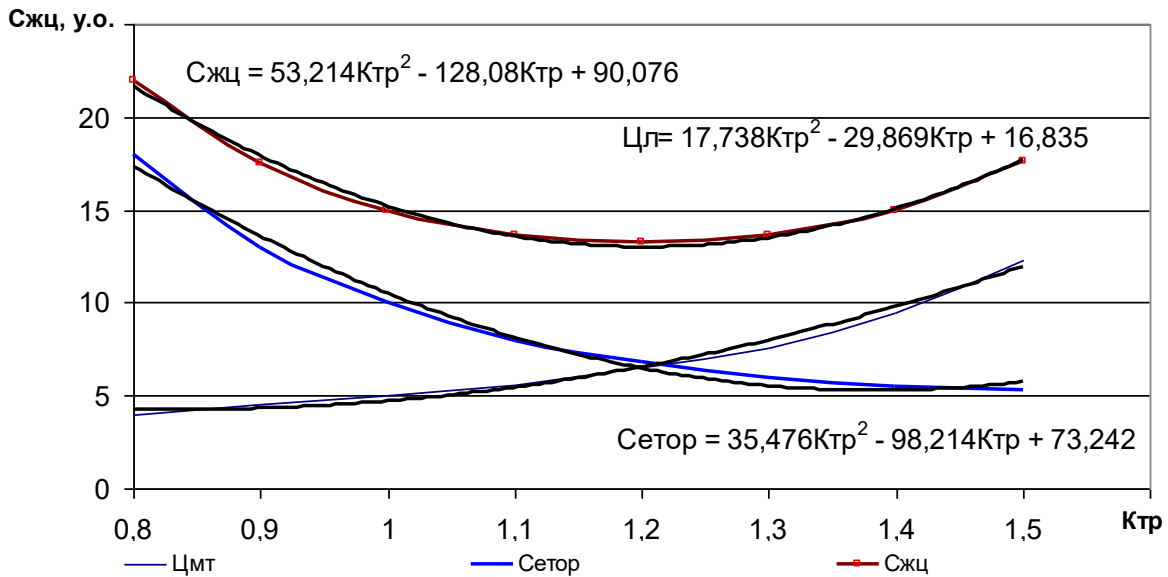


Рис.5. Залежність вартості життєвого циклу від технічного рівня тепловозів

Для оцінення пристосованості маневрових тепловозів до експлуатації пропонується до відомих критеріїв додати два додаткові. Перший – це критерій пристосованості маневрового тепловоза до експлуатації за ціною локомотива, який показує відношення вартості життєвого циклу тепловоза до його початкової вартості і розраховується за формулою:

$$K_{ЖЦ}^1 = \frac{C_{ЖЦ}}{Ц_{Л}} = 1 - \frac{C_{Експл}^{II} + C_{Екіпр}^{II} + C_{ТОР}^{II} + C_{РекТЧ}^{II}}{Ц_{Л}}. \quad (30)$$

Для маневрових тепловозів з технічним рівнем від 0,5 до 1,5 цей критерій повинен бути меншим 4,0.

Другий – це критерій пристосованості тепловоза до експлуатації за мінімальними витратами на експлуатацію та екіпіровку, який показує відношення існуючих витрат на експлуатацію, екіпіровку, обслуговування та ремонт тепловоза до мінімальних витрат на експлуатацію та екіпіровку і розраховується за формулою

$$K_{ЖЦ}^2 = \frac{C_{ЕТОР}^{сум}}{C_{ЕТОР}^{мін}} = \frac{C_{Експл}^{II} + C_{Екіпр}^{II} + C_{ТОР}^{II} + C_{РекТЧ}^{II}}{C_{Експл}^{II} + C_{Екіпр}^{II}}. \quad (31)$$

Потім, з урахуванням отриманих закономірностей, в другому розділі прогнозовані основні показники маневрового тепловоза для залізниць України. Результати розрахунків показників маневрового тепловоза ТЕМ103 потужністю 588 кВт наведені в табл.4.

Таблиця 4

Визначення характеристик маневрового тепловоза ТЕМ103

Найменування показника	Прогнозне значення по типу	Значення по типу	Прогнозне значення по ТЗ	Значення по ТЗ
Потужність дизеля, кВт (к.с.)		до 588 (800)	588	588 (800)
Габарит	1-Т			
Осьова формула	2o-2o	2o-2o	2o-2o	2o-2o
Маса службова, т	78,2	80	88	80...90
Навантаження від колісної пари на рейки, кН (тс)		196...221 (20...22,5)		196-221 (20,0-22,5)
Конструкційна швидкість, км/год	140	140	80	80
Швидкість максимальна в експлуатації, км/год	78,7	50...80	60	80
Швидкість розрахункового режиму, км/год	9,15	5...8	5,0	7,6...9,5
Номінальний діаметр бандажу по колу катання, мм	1050			
Тип електричної передачі	Змінного струму		Змінно-постійного струму	
Використання потужності дизеля на тягу	0,64	0,6	0,67	0,65
Сила тяги:				
- при зрушенні ($\Psi=0,35$), кН	285	270...310	273	265
- розрахункова ($\Psi=0,26$), кН	210	195...250	222	196...257
Тип допоміжного привода	Асинхронний із плавним регулюванням			
Система керування	Електронна мікропроцесорна			
Безпека життя і здоров'я локомотивних бригад	Забезпечення сучасних санітарно-гігієнічних умов			
Потужність електричного гальма, кВт, не менше	800	600	500	500
Ціна, млн. грн.	5,0	5,0	8,7	7,2 (5,0)

На основі розрахованого технічного рівня маневрового тепловоза були визначені технічні рівні його складових та вибрані з використанням раніше розробленої моделі основні модулі та вузли.

Для вирішення задачі прогнозування надійності маневрового локомотива на протязі всього життєвого циклу розроблені моделі, в які

входять розрахунки надійності на етапах проектування, виготовлення і експлуатації.

На етапі проектування надійність маневрового тепловоза пропонується визначати за двома моделями. Перша модель розроблена у вигляді блок-схем розрахунку надійності. При її використанні спочатку маневровий тепловоз необхідно розділити на основні підсистеми, для яких складаються функціональні схеми. Потім на основі логічних схем розрахунку надійності підсистем формуються гіпотези стану підсистем локомотивів. У результаті розраховується повна ймовірність безвідмовної роботи маневрового тепловоза з електричною передачею за відомими формулами, а також ймовірності безвідмовної роботи вузлів та агрегатів. Результати розрахунків по даній моделі свідчать, що ймовірність безвідмовної роботи ходової частини маневрового тепловоза ТЕМ103 дорівнює 0,8032, дизеля з системами його забезпечення – 0,7927, електричної передачі – 0,8321, допоміжного обладнання – 0,9565, а тепловоза в цілому – 0,5067.

Одним із недоліків розглянутої моделі є допущення про тверду фіксацію значень ймовірності безвідмовної роботи елементів без урахування динаміки зміни процесів у часі. Тому на етапі проектування доцільно розрахунки проводити за двома різними моделями: вищерозглянутою та моделлю на основі напівмарковських процесів. При використанні другої моделі робиться припущення, що потоки відмовлень та відновлень маневрового локомотива та його вузлів є прості, і розподіл проміжків часу між відмовленнями та відновленнями відповідає експоненті.

Маневровий тепловоз в кожен момент часу може знаходитись в одному зі станів a_i , ($i = 0, 1, 2, \dots, N$) із безлічі станів $A\{a_0, a_1, a_2, \dots, a_N\}$. Враховуючи, що в початковий момент часу маневровий локомотив може знаходитись в стані a_i , перехід зі стану a_i у стан a_j можливий з ймовірністю P_{ij} . Час перебування системи в стані a_i є випадкова величина ζ_{ij} , що залежить від станів a_i і a_j .

Функцію розподілу $F_{ij}(t)$ випадкової величини ζ_{ij} можна подати у вигляді $F_{ij}(t) = P\{\zeta_{ij} \leq t\}$, а ймовірності переходів P_{ij} визначаються такими

співвідношеннями: $P_{ij} = \int_0^{\infty} q_{ij}(u) dF_i(u)$, і $\sum_{j=0}^N P_{ij} = 1$, ($i, j = 0, 1, 2, \dots, N$).

З використанням перетворень Лапласа-Стильєса була отримана система лінійних алгебраїчних рівнянь, яка після перетворень являє математичну модель визначення характеристик надійності маневрового тепловоза. Функціонування його описується напівмарковським процесом:

$$\psi_i(s) = \tilde{F}_i + \sum_{a_j \in A_0} \int \varphi_{ij}(s) [\psi_j(s) - 1], \quad a_i \in A. \quad (32)$$

$$\bar{\tau}_i = \bar{\zeta}_i + \sum_{a_j \in A} P_{ij} \bar{\tau}_j, \quad a_i \in A. \quad (33)$$

На етапі виготовлення розраховується конструкційна надійність

$$P_{\text{констр. над.}} = P_{\text{стр}}, K_{\text{тех.пок.і}}, K_{\text{матер.і}}, K_{\text{перс.і}}, \quad (34)$$

де $K_{\text{тех.пок.і}}$ - поправочний коефіцієнт, який враховує технологію виготовлення тепловозів; $K_{\text{матер.і}}$ - поправочний коефіцієнт, який враховує якість матеріалу, з якого виготовляється тепловоз; $K_{\text{перс.і}}$ - поправочний коефіцієнт, який враховує кваліфікацію персоналу.

Для автоматизації розрахунків надійності локомотивів в експлуатації розроблено ряд АРМів.

П'ятий розділ присвячений розробленню моделі системи експлуатації та технічного обслуговування маневрових тепловозів на основі багатоетапної задачі стохастичного програмування.

Вузли і характеристики маневрового тепловоза (T_{TP}) визначають його покоління. Кожному поколінню рухомого складу відповідає свій тип системи ЕТОР (S_{ETOP}), яка в свою чергу залежить від ремонтної бази депо (T_{PEM}) і системи експлуатації (T_{EKC}), тобто $S_{ETOP} = f(T_{TP}, T_{PEM}, T_{EKC})$.

Наявність в сучасних маневрових тепловозах мікропроцесорних вузлів і систем, як показує досвід, ще не вказує на те, що їх можна віднести до 4 покоління. Це значно ускладнює можливість ремонту його в умовах депо, затрудняє забезпечення їх характеристик на II етапі життєвого циклу. З цієї причини необхідно мати новий підхід до створення системи експлуатації і ремонту. Його реалізація потребує розроблення нового алгоритму (рис.6), який передбачає такий граф станів процесу вибору системи ЕТОР (рис. 7), який відповідно характеризує: 1- характеристики маневрового тепловоза; 2 – бази експлуатаційних депо; 3 – ремонтні бази; 4 – вибір типу системи; 5 – етап оптимізації системи; 6 – етап експлуатації маневрового тепловоза і 7 – накопичення даних.

В першу чергу необхідно виконати аналіз та розрахунки необхідних показників, які характеризують: технічні характеристики маневрового тепловоза (стан 1), ремонтну базу (стан 2), систему експлуатації (стан 3). Потім виконується вибір типу системи ЕТОР (стан 4) експертним методом.

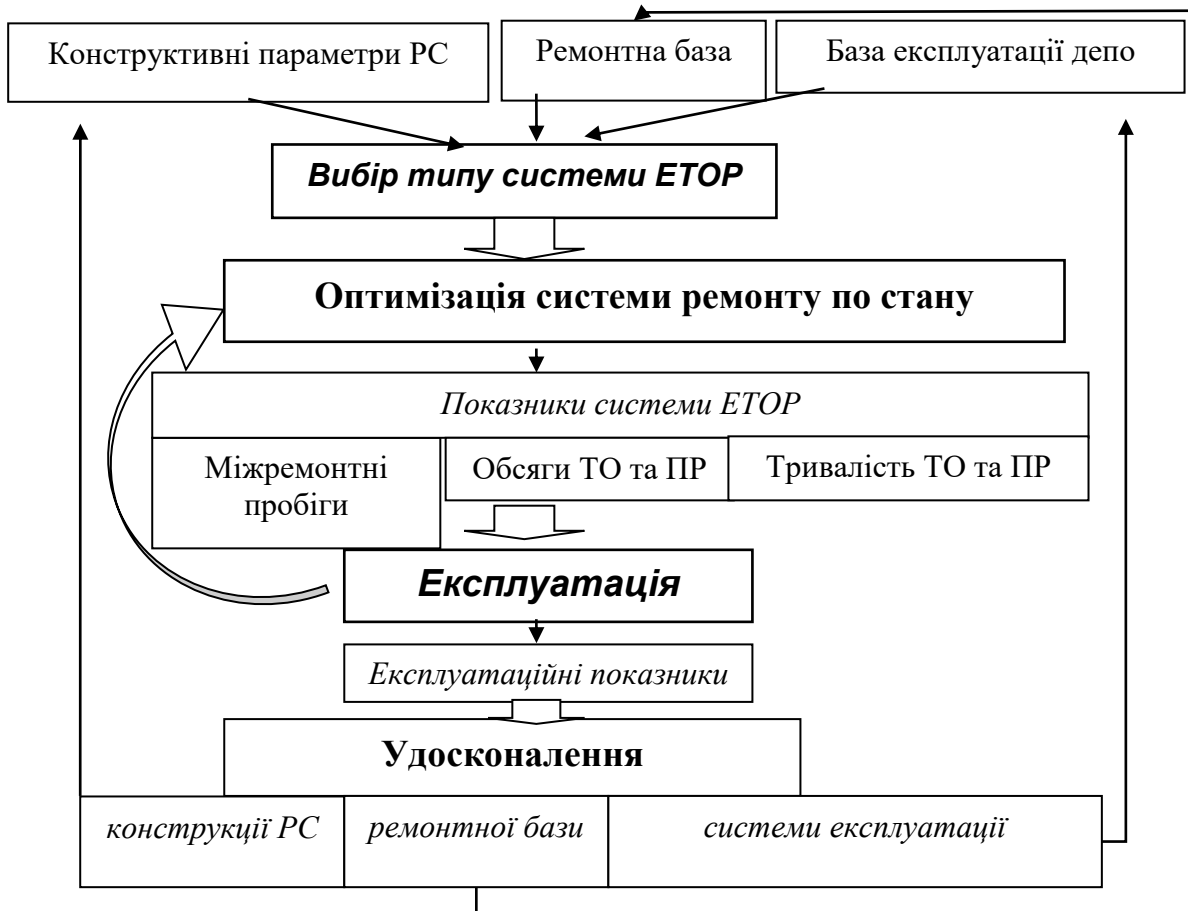


Рис. 6. Алгоритм системи ЕТОР для нових маневрових тепловозів

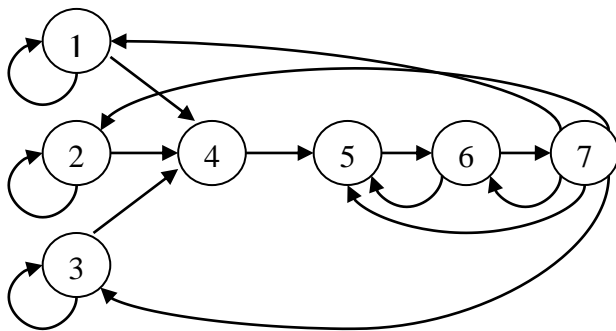


Рис. 7. Граф станів процесу вибору системи ЕТОР

Після цього (стан 5) виконується оптимізація системи ремонту, в результаті якої отримують основні показники системи ЕТОР: кількість і порядок чергування ТО та ПР в повний період роботи маневрового тепловоза між капітальними ремонтами, міжремонтні пробіги, обсяги та тривалість ТО та ПР.

Раціональний ремонтний цикл вибирається із множини варіантів з використанням поетапного структурного аналізу конструкції маневрового тепловоза та визначенням для окремих деталей та груп деталей ефективних напрацювань між ремонтами L_{rij} . Оскільки на початковій стадії придбання маневрових тепловозів кількість їх буде мала, то критерієм оптимізації

вибрано мінімум сумарного простою тепловозів на ТО, ПР та непланових ремонтах

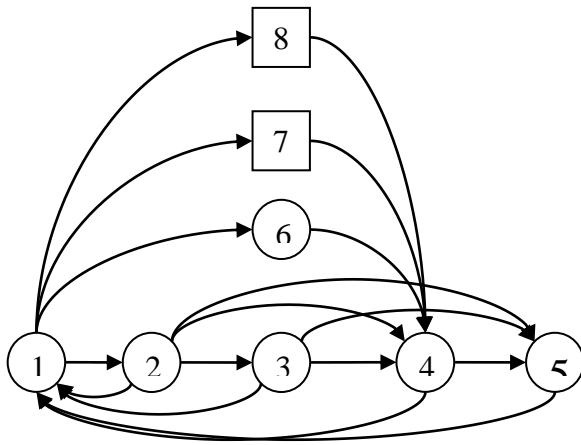


Рис. 8. Граф станів процесу ЕТОР
1. Експлуатація; 2. ТО-1; 3. ТО2;
4. Екіпіровка; 5. Очікування експлуатації; 6. Технічні обслуговування;
7. Поточні ремонти; 8. Капітальні ремонти.

марковських систем обслуговування.

Під час експлуатації РС (стани 6, 7) система ЕТОР корегується (стан 5) з урахуванням експлуатаційних показників та діагностичних даних, які накопичуються, обробляються за відомими методиками, що були розроблені Бутько Т.В. Аналогічно виконується корегування параметрів системи при модернізації вузлів маневрового тепловоза, або ремонтної чи експлуатаційної бази депо.

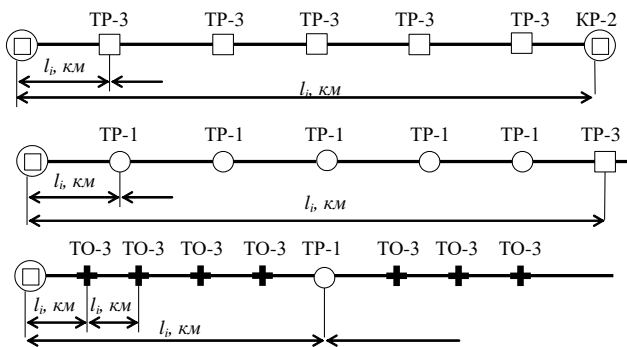


Рис. 9. Ремонтний цикл маневрового тепловозу

$$F_{ij} = \sum_j \sum_{i=ТО3}^{ПР3} (T_{pij}) \Rightarrow \min . \quad (35)$$

Враховуючи обмеження, які характеризують регіон експлуатації та обсяги робіт відповідно до розробленого графу моделі станів процесу експлуатації та ТОР (рис.8), складається рівняння Колмогорова. Потім за відомими формулами розраховуються характеристики системи ЕТОР.

При організації проведення ТОР визначення характеристик систем ремонту виконувалось з використанням

В результаті моделювання для малих партій локомотивів була вибрана комбінована система ЕТОР. Ремонт обладнання, яке впливає на безпеку руху, та існуючого в депо потрібно виконувати за планово - попереджувальною системою за ремонтним циклом (рис.9). Ремонт наукоємного обладнання передбачається виконувати сервісними групами.

Для невеликих партій локомотивів кількість ремонтів під час експлуатації необхідно визначати імовірнісним методом з урахуванням законів розподілу пробігів з початку експлуатації

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n M_i \frac{\Phi\left(\frac{\bar{L}_{0i} + \bar{L}_{pii} - \bar{L}_{np}}{\sqrt{\partial_{pik}^2 + \partial_{np}^2}}\right) - \Phi\left(\frac{\bar{L}_{0i} - \bar{L}_{np}}{\partial_{np}}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{\bar{L}_{0i} - \bar{L}_{np}}{\partial_{np}}\right)}, \quad (36)$$

де n – число розрядів локомотивів за пробігом з початку експлуатації; i – порядковий номер розряду розподілу локомотивів за пробігом з початку експлуатації; M_i – кількість локомотивів в i -му розряді розподілу; Φ – функція Лапласа; \bar{L}_{0i} – математичне очікування пробігу локомотива з початку експлуатації i -го розряду, км; \bar{L}_{pik} – математичне очікування річного пробігу локомотивів, км; \bar{L}_{np} – математичне очікування пробігу локомотивів до ремонту (наприклад ПР-3, ПР-3У), км; ∂_{pik} – середнє квадратичне відхилення річного пробігу, км; ∂_{np} – середнє квадратичне відхилення пробігу до ремонту, км.

У шостому розділі розрахована економічна ефективність від використання нових маневрових тепловозів. Як свідчать розрахунки, економія експлуатаційних витрат на 1 тепловоз за рік складе 129717,8 грн, в тому числі за рахунок зменшення витрат на паливо 51701,85 грн, ТО та ПР - 39180,79 грн, на гальмові колодки - 32072 грн, на мастильні матеріали - 6345,98 грн, на екіпіровку - 417,13 грн, зменшення шкоди, яка наноситься навколишньому середовищу - 5201,4 грн. Економічний ефект від використання тепловозів ТЕМ 103, приведений до розрахункового року, складатиме 118004 тис.грн за весь життєвий цикл, при цьому економія тільки витрат на придбання - 93500 тис. грн.

Раціональний термін заміни старих маневрових тепловозів буде визначатися з умови рівності витрат на новий тепловоз та на старий і являтиме собою залежність

$$(1 + E)^t (1 + E)^{\Theta_0} + (1 + E)^t E(\tau + \Theta_0) = \frac{C_2 + \rho_2 k_2 + E k_2 - C_1}{\rho_1 k_1}, \quad (37)$$

де C_1, C_2 – середні витрати на експлуатацію діючого та нового маневрового тепловозів відповідно; E – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень; k_1, k_2 – вартість одного маневрового тепловоза відповідно діючого та нового; ρ_1, ρ_2 – коефіцієнт реновації на діючий та новий маневровий тепловоз; T_1^{mp} – термін дії (роботи) діючого маневрового

тепловоза (моторесурс); Θ – час дії маневрових тепловозів, які знаходяться в експлуатації, з моменту їх останнього поновлення до розрахункового року; τ – економічно доцільний термін заміни діючих маневрових тепловозів новими.

При цьому стосовно параметра τ повинна дотримуватися умова $\tau \leq T_1^{TP} - \Theta_0$. За розробленою моделлю визначені економічно доцільні терміни раціональної заміни тепловозів ЧМЕЗ новими ТЕМ 103. Тепловози ЧМЕЗ знаходяться в експлуатації у середньому 20-25 років, що відповідає терміну заміни $\tau=0$. Оскільки $\tau=0 \leq 30 - (20 \div 25)$, то доцільно починати заміну цих тепловозів не пізніше наступних 5 років.

ВИСНОВКИ

Виконані дослідження присвячені вирішенню актуальної науково-практичної проблеми – розвитку наукових основ визначення характеристик перспективних маневрових тепловозів для залізниць України. За результатами проведеної роботи можна зробити такі висновки:

1. На залізницях України манєврова і манєврово-вивізна робота здійснюються парком тепловозів на 98% чеського виробництва, які масово закуповувались в період з 1970 по 1987 роки, а в даний момент в основному виробили свій ресурс. Моніторинг же обсягів манєврових робіт показує їх можливе збільшення, що викликає необхідність поповнення парку цих локомотивів. Вхідження України в Європейську спільноту та досвід розвинутих країн показує, що характеристики нових тепловозів повинні бути відповідати світовим стандартам.
2. Еволюційний розвиток манєврових локомотивів показав тенденції збільшення осьової сили тяги, використання передач змінного струму з асинхронними тяговими двигунами, модульного принципу конструювання та виробництва, електронних систем керування та діагностики. При цьому науковому обґрунтуванню характеристик та технічного рівня манєврових тепловозів приділяється недостатньо уваги, а вихідними даними для розрахунків є обсяги манєврових робіт та дані по гірці.
3. Запропонована нова концепція створення перспективних манєврових тепловозів для залізниць Укрзалізниці, яка узагальнює визначення науково - обґрунтованих характеристик і розвиває принципи побудови манєврових тепловозів з урахуванням умов експлуатації, світового технічного рівня, системи обслуговування та ремонту, зниження витрат за весь життєвий цикл, модульного підходу їх

компонування та особливостей промисловості і залізниць України. Відмінністю її є те, що в існуючих концепціях, створення маневрових локомотивів відбувається на основі вітчизняного обладнання під існуючу систему обслуговування та ремонту, а звідси уже і виконувалось визначення характеристик.

4. На основі обробки матеріалу по створенню нової техніки був визначений характер показників на протязі всього їх життєвого циклу. Такі характеристики, як термін служби та вартість життєвого циклу на протязі існування маневрових тепловозів мають стохастичний характер. Інші показники тепловоза з відповідним припущенням, починаючи з 2-5 станів, можна вважати детермінованими.
5. Для визначення характеристик локомотивів запропоновані імітаційні моделі їх прогнозування. Одна модель для отримання залежностей базується на використанні методу найменших квадратів. Друга – на використанні нейромереж. Для локомотивів, згрупованих у групи за трьома критеріями були отримані залежності для різних показників від потужності та технічного рівня. Кореляційне відношення для цих залежностей перевищує 0,75.
6. Аналіз типу рухомого складу показав, що існує два підходи до його вибору. Компанії – виробники виконують групування за видом рухомого складу та його осьовою характеристикою, а компанії, які займаються перевезеннями – по потужності, видам роботи, типу струму і т.п. На основі розробленого підходу був визначений типаж маневрових тепловозів для залізниць України, який згрупований за вісністю на чотири-, шести-, та восьмивісні локомотиви та складається з чотирьох типів за потужністю – 800, 1200, 2000 к.с. Технічний рівень чотиривісних маневрових тепловозів з електричною передачею при цьому знаходиться в межах 1,34-1,45.
7. Розроблений метод оцінки технічного рівня маневрових тепловозів на основі системного підходу, який дозволяє виявити складові частини локомотива з недостатнім технічним рівнем. Для цього була розроблена структурна схема чотиривісного маневрового тепловоза з електричною передачею та метод вибору вузлів локомотива з використанням морфологічного підходу. При цьому технічний рівень маневрового тепловоза з передачею змінно-постійного струму дорівнює 1,10, що показує невідповідність локомотива сучасному рівню. Слабшою системою даного тепловоза на даному етапі є його енергетична установка і передача. Використання на локомотиві передачі змінного струму дозволить підвищити коефіцієнт технічного

- рівня до 1,23, що відповідно підвищить його конкурентоспроможність.
8. Розроблені моделі визначення технічного рівня з урахуванням особливостей України та життєвого циклу. Результати розрахунків показали, що оптимальний технічний рівень для локомотива потужністю 800 к.с. з передачею змінно-постійного струму дорівнює 1,211. Але при обмеженні фінансування на виробництво та швидкості побудови технічний рівень проектного тепловоза буде знаходитись в межах 1,04-1,09.
 9. Для розрахунків технічного рівня маневрових тепловозів, їх основних характеристик, надійності та параметрів системи ЕТОР була удосконалена автоматизована інформаційна система з відповідними пакетами прикладних програм.
 10. Розроблено наукові підходи до визначення надійності маневрових тепловозів з електричною передачею на етапі проектування. Для цього пропонується використовувати математичну модель у вигляді графів з використанням системного аналізу та імовірнісну модель із застосуванням напівмарковських процесів. Розрахована надійність спроектованого маневрового тепловоза ТЕМ103 до ТО-3 буде складати 0,5067. Аналіз надійності основних складових тепловоза показав, що найменшу надійність має підсистема дизеля та його допоміжних систем.
 11. Зроблений аналіз існуючих систем експлуатації, технічного обслуговування та ремонту рухомого складу показав необхідність нових підходів до систем ЕТОР для наукоємного рухомого складу. Була розроблена адаптивна модель системи обслуговування та ремонту для маневрового тепловоза. Для уточнення характеристик системи обслуговування та ремонту з урахуванням регіону та умов експлуатації були розроблені відповідні моделі, що дозволить більш раціонально використовувати локомотиви.
 12. Пристосованість конструкції до експлуатації, крім відомих критеріїв, пропонується оцінювати за двома додатковими критеріями:
 - а) критерій пристосованості маневрового тепловоза до експлуатації за ціною локомотива, який показує відношення вартості життєвого циклу тепловоза до його початкової вартості. Для маневрових тепловозів з електричною передачею з технічним рівнем від 0,5 до 1,5 він повинен бути мінімальним, при цьому меншим 4,0.
 - б) пристосованості тепловоза до експлуатації за мінімальними витратами на експлуатацію та екіпіровку, який показує відношення існуючих

витрат на експлуатацію, екіпіровку, обслуговування та ремонт тепловоза до мінімальних витрат на експлуатацію та екіпіровку.

13. Розроблені моделі визначення вартості життєвого циклу, за допомогою яких отримані залежності витрат від років експлуатації локомотивів. З їх допомогою можна спрогнозувати вартість життєвого циклу для маневрових тепловозів з відомими характеристиками.

Економічний ефект від використання тепловозів ТЕМ 103, приведений до розрахункового року, складатиме 118004 тис.грн. При цьому економія витрат на придбання складатиме 93500 тис. грн.

14. Для визначення економічно доцільних термінів раціональної заміни застарілих тепловозів ЧМЕЗ новими була розроблена імітаційна модель. Результати розрахунків за даною моделлю показали, що тепловози ЧМЕЗ, які знаходяться в експлуатації в середньому 20-25 років, доцільно починати замінювати не пізніше наступних 5 років.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Фалендиш А.П. Вибір вузлів маневрового тепловоза з використанням морфологічного аналізу / Вісник Східноукраїн.нац.ун-т. -2003. -№9 (67). –Т.1. –С.177-180.
2. Фалендиш А.П. Інформаційно-розрахункова система структурної надійності маневрових тепловозів // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. -2005. -№1, 2 –С.66-69.
3. Фалендиш А.П., Калабухін Ю.Є. Визначення вартості життєвого циклу маневрових тепловозів // Вісник Східноукраїнського національного університету. 2005. -№ 8 (90). –Ч.2. –С.239-242.
4. Крашенінін О.С., Фалендиш А.П. Модель визначення термінів заміни рухомого складу // Вісник Східноукраїнського національного університету. 2005. -№ 3 (85). –С.126-130.
5. Калабухін Ю.Є., Фалендиш А.П. Результати оцінки економічних переваг використання маневрових тепловозів вітчизняного виробництва // Вісник економіки транспорту і промисловості. –Харків: 2003. –Вип.4. –С.92-97.
6. Фалендиш А.П. Методика определения номенклатуры показателей локомотивов с использованием теории множеств / Вісник Східноукраїн.держ.ун-т. -2000. -№5(27). –С.238-240.
7. Фалендиш А.П. Пакет прикладних програм з оцінки надійності тягових редукторів локомотивів / Вісник Східноукраїн.нац.ун-т. -2001. -№7(41). –Т.1. –С.65-66.

8. Фалендиш А.П., Чигирик Н.Д. Системи обслуговування та ремонту нового рухомого складу // Вісник Східноукраїнського національного університету. -2004. -№ 5 (75). –С.173-177.
9. Фалендыш А.П., Харламов П.О., Чигирик Н.Д. Модель расчета эффективности системы обслуживания и ремонта подвижного состава // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. -2004. -№2 – С.84-88.
10. Крашенінін О.С., Фалендиш А.П. Модель розрахунку кількості ремонтів локомотивів з урахуванням ймовірносного розподілу їх пробігів. / Вісник Міжнародного слов'янського університету. Серія «Технічні науки». Том VII. –Харків: 2004. –№2. –С.33-35.
11. Фалендиш А.П., Чигирик Н.Д. Оцінка структурної надійності маневрових тепловозів на етапі проектування // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. -2005. -№3 –С.65-69.
12. Фалендыш А.П. Модель определения показателей маневрового тепловоза с использованием методов стохастического программирования / Збірник наукових праць. –Харків: УкрДАЗТ, 2005. -Вип.69. -С.196-200.
13. Крашенінін О.С., Фалендиш А.П. Розрахунок показників надійності локомотивів на стадії проектування / Міжвуз. зб. наук. пр. –Харків: ХарДАЗТ, 1997. Вип.31. -С.18-19.
14. Калабухін Ю.Є., Лашко А.Д., Фалендиш А.П. Економічна ефективність використання дизелів вітчизняного виробництва для тепловозного парку України / Міжвуз. зб. наук. пр. /ХарДАЗТ, 1998. –Вип.34. –С.43-46.
15. Фалендиш А.П. Методика покращення техніко-економічних показників використання локомотивів / Підвищення експлуатаційної ефективності тягового рухомого складу. Міжвуз зб. наук. пр. -Вип.41. –Харків: ХарДАЗТ, 2000. -С.60-63.
16. Фалендиш А.П. Оцінка надійності локомотивів при визначенні їх технічної якості. / Зб. наук. пр. –Харків: ХарДАЗТ, 2000. -Вип.42. -С.23-26.
17. Фалендиш А.П. Оцінка технічного рівня тягового електроприводу локомотивів / Зб. наук. пр. –Харків: ХарДАЗТ, 2001. -Вип.45. -С.5-10.
18. Крашенінін О.С., Фалендиш А.П. Оцінка життєвого циклу локомотивів / Зб. наук. пр –Харків: ХарДАЗТ, 2001. -Вип.46. -С.55-58.
19. Джус В.С., Фалендиш А.П. Методика визначення технічного рівня маневрових тепловозів з урахуванням регіону експлуатації. / Зб. наук. пр. –Харків: УкрДАЗТ, 2003. -Вип.53. -С.103-107.
20. Калабухін Ю.Є., Фалендиш А.П. Визначення економії експлуатаційних витрат маневрових тепловозів / Зб. наук. пр. –Харків: УкрДАЗТ, 2003. - Вип.54. -С.127-132.

21. Грищенко С.Г., Тартаковський Е.Д., Фалендиш А.П. Методичні проблеми прискорення введення в експлуатацію нового тягового рухомого складу // Зб. наук. пр. –Харків: УкрДАЗТ, 2003. -Вип.56. -С.10-16.
22. Крамчанін І.Г., Крашенінін О.С., Пузир В.Г., Фалендиш А.П. Організація технологічних процесів ремонту ТРС із застосуванням засобів діагностування // Зб. наук. пр. –Харків: УкрДАЗТ, 2004. -Вип.57. -С.31-34.
23. Фалендиш А.П., Харламов П.О. Прогнозування техніко-економічних характеристик маневрових тепловозів // Зб. наук. пр. КУЕТТ. Серія «Транспортні системи і технології». –К.: КУЕТТ, 2004. -Вип.5 –С.62-67.
24. Фалендиш А.П. Модель розрахунку надійності маневрового тепловозу // Вісник Східноукраїнського національного університету. 2004. -№ 8 (78). –С.66-69.
25. Фалендиш А.П., Харламов П.О. Прогнозування техніко-економічних параметрів чотиривісних маневрових тепловозів // Зб. наук. пр. –Харків: УкрДАЗТ, 2004. -Вип.64. -С.93-97.
26. Фалендиш А.П. Системний метод оцінювання технічного рівня маневрових тепловозів // Зб. наук. пр. –Харків: УкрДАЗТ, 2005. -Вип.66. -С.79-83.
27. Фалендиш А.П., Говоров В.М. Підвищення надійності колісних пар // Зб. наук. пр. / -Харків: УкрДАЗТ, 2005. –Вип.65. –С.96-100.
28. Експлуатаційні випробування моторно-осьових підшипників маневрових тепловозів / А.П. Фалендиш, П.О. Харламов, Д.М. Коваленко, І.В. Бабіч / Зб. наук. пр. –Харків: УкрДАЗТ, 2005. -Вип.68. -С.239-250.
Додатково матеріали дисертаційної роботи викладені в працях:
29. Басов Г.Г., Фалендиш А.П. Використання дизельного рухомого складу в приміському русі. /Науково-технічний збірник. –Київ: Техніка, 2003. - Вип.47. –С.201-206.
30. Крашенінін А.С., Фалендиш А.П. Расчет показателей надежности асинхронного двигателя проектируемого дизель-поезда / Межвуз сб. научн. тр. –Харьков: ХарГАЗТ, 1997. Вып.29. -С.46-50.
31. Крашенінін А.С. Фалендиш А.П. Оценка эффективности совершенствования организации ТО и ТР локомотивов / Міжвуз. зб. наук. пр. /ХарДАЗТ, 1998. –Вип.34. –С.29-33.
32. Прибутько В.И., Фалендиш А.П. Программа расчета параметра потока отказов локомотивов / Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. -1998. -№4. –С.90-91.
33. Фалендиш А.П. Методика розрахунку та оптимізації надійності екіпажної частини тепловозів / Проблемы механики железнодорожного

- транспорта: Динамика, надежность и безопасность подвижного состава. X международная конференция. Тезисы докладов. –Днепропетровск: 2000. –С.202-203.
34. Фалендыш А.П. Оценка технического уровня тепловозов / Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте // Труды IV научно-техн. конференции. –М.: МИИТ, 2001. –III-54С.
35. Фалендыш А.П. Оценка технического уровня локомотивов как составной части железнодорожной транспортной системы / Труды III международной научно-практической конференции. –Гомель: БелГУТ, 2001. –С.116-117.
36. Фалендиш А.П., Харламов П.О., Чигирик Н.Д. Розрахунок показників надійності рухомого складу / Тезиси VII міжнародної науково-практичної конференції «Наука і освіта» -Дніпропетровськ: 2004. -Том 62. –С.76-78.
37. Тартаковський Е.Д., Фалендиш А.П. Інформаційна система оцінки технічного рівня маневрових тепловозів / Зб. наук. пр. Східноукраїн. нац.ун-т. ім. В.Даля. Технічні науки. –Луганськ: Вид-цтво СНУ ім. В.Даля, 2004. -С.129-132.
38. Бабанін О.Б., Фалендиш А.П., Скубченко О.І. Новий імпортований рухомий склад для приміського сполучення на залізницях України // Зб. наук. пр. –Харків: УкрДАЗТ, 2004. -Вип.64. -С.159-164.
39. Фалендиш А.П., Харламов П.О. Прогнозування характеристик перспективних маневрових тепловозів для залізниць України / Тези доповідей другої науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: Техніка, технологія, економіка і управління». –К.: КУЕТТ, 2004. -Ч.1. –С.74-75.
40. Тартаковський Э.Д., Фалендыш А.П., Харламов П.А. Прогнозирование характеристик тепловозов и дизель-поездов с учетом жизненного цикла / Сборник тезисов I научно-практической конференции «Внедрение наукоемких технологий на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте» (Крым, Алушта, июнь 2005). – Днепропетровск: ДНУЗТ, 2005. -С.35-36.
41. Методичні вказівки з підготовки і проведення приймальних випробувань тягового рухомого складу та його складових. / Е.Д. Тартаковський, А.П. Фалендиш, С.Г. Грищенко, М.І. Сергієнко –К.: ТОВ «Швидкий рух», -2005. -80с.
42. Разработка программного обеспечения для автоматизированных контрольно-обучающих систем на железнодорожном транспорте / А.Ф. Агулов, А.П. Фалендыш, П.А. Харламов, Д.Н. Коваленко //

Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. -2005. -№5. –С.107-108.

43. Фалендыш А.П., Харламов П.А., Бабич И.А. Моделирование системы эксплуатации и обслуживания новых маневровых тепловозов / Тези доповідей третьої науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем: Техніка, технологія, економіка і управління». –К.: КУЕТТ, 2005. –Серія «Техніка, технологія» –С.41-42.

АНОТАЦІЯ

Фалендиш А.П. Розвиток наукових основ визначення характеристик перспективних маневрових тепловозів – рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2006 р.

Дисертація містить наукові основи, які дозволяють комплексно і з єдиних методологічних позицій вирішувати проблему визначення характеристик перспективних маневрових тепловозів. Розроблена концепція створення маневрових тепловозів дозволяє визначати їх характеристики, які будуть найбільш раціональними з точки зору світового технічного рівня, можливостей виробника, життєвого циклу та інших факторів. Для прогнозування характеристик розроблені імітаційні моделі, на основі яких визначені залежності показників та значення характеристик для перспективних локомотивів. Розроблений метод та моделі оцінки технічного рівня на основі системного підходу дозволяють визначати технічний рівень як маневрового тепловоза в цілому, так і його складових. Отримані залежності вартості життєвого циклу від технічного рівня маневрових тепловозів з електричною передачею. Запропонована модель системи обслуговування та ремонту для нових маневрових тепловозів.

Ключові слова: маневровий тепловоз, характеристики локомотива, надійність, система обслуговування та ремонту, життєвий цикл, технічний рівень.

АННОТАЦИЯ

Фалендыш А. П. Развитие научных основ определения характеристик перспективных маневровых тепловозов – рукопись.

Диссертация на получение ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга

поездов. - Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2006 г.

Диссертация содержит научные основы, которые позволяют комплексно и с единых методологических позиций решать проблему определения характеристик перспективных маневровых тепловозов.

Разработанная концепция создания маневровых тепловозов позволяет определять их характеристики, которые будут наиболее рациональными с точки зрения мирового технического уровня, возможностей производителя, жизненного цикла и других факторов. Для ее реализации была разработана соответствующая методология.

На основе обработки материалов по созданию новой техники был определен характер показателей маневрового тепловоза на протяжении всего жизненного цикла, который показал, что большая часть показателей имеет стохастический характер.

Для прогнозирования характеристик разработаны модели, на основе которых определены зависимости показателей и значение характеристик для перспективных локомотивов. С использованием полученных зависимостей был определен типаж новых локомотивов, который утвержден Укрзалізницею.

Разработанный метод оценки технического уровня маневровых тепловозов на основе системного анализа позволяет определить технический уровень как локомотива в целом, так и его модулей и узлов.

Разработаны модели определения стоимости жизненного цикла, с использованием которых получены зависимости расходов по времени эксплуатации.

Получены зависимости стоимости жизненного цикла от технического уровня маневровых тепловозов с электрической передачей и определен рациональный технический уровень локомотива с учетом особенностей Украины.

Предложена модель определения модулей и узлов локомотива, которая основывается на морфологическом анализе. С ее помощью были определены основные узлы и модули перспективного маневрового тепловоза.

Предложены научные подходы к определению надежности маневровых тепловозов с электрической передачей на этапе проектирования. Для этого предлагается использовать две математические модели: одна в виде графов, вторая – с использованием полумарковских процессов. Расчетная надежность спроектированного локомотива до ТО-3 будет составлять 0,5067.

На основе разработанных методов и моделей оценки технического уровня маневровых тепловозов и их надежности была разработана информационная система с соответствующим программным обеспечением. Она позволяет рассчитать надежность и технический уровень маневровых тепловозов различными методами еще на этапе проектирования.

Предложена модель системы обслуживания и ремонта для новых маневровых тепловозов. Для уточнения ее характеристик с учетом региона и условий эксплуатации были разработаны соответствующие модели, что позволит более рационально использовать локомотивы.

Для оценки приспособленности конструкции к эксплуатации были предложены два дополнительных критерия: критерий приспособленности локомотива к эксплуатации, который представляет собой отношение стоимости жизненного цикла к расходам на эксплуатацию и экипировку, и критерий добротности конструкции, который представляет собой отношение стоимости жизненного цикла к стоимости локомотива.

Экономический эффект от использования проектируемых маневровых тепловозов мощностью 588 кВт, приведенный к расчетному году, составит более 118 млн.грн. При этом экономия от приобретения будет составлять около 93500 тис.грн.

Для определения экономической целесообразности рационального обновления эксплуатируемых локомотивов ЧМЭЗ, более 80% которых уже выработало свой ресурс, была разработана имитационная модель. Результаты расчетов по данной модели показали, что тепловозы ЧМЭЗ, которые находятся в эксплуатации в среднем 20-25 лет, целесообразно заменять не позднее последующих 5 лет.

Ключевые слова: маневровый тепловоз, характеристики локомотива, надежность, система обслуживания и ремонта, жизненный цикл, технический уровень.

ABSTRACT

Falendysh A. P. Development scientific bases determinations of the features perspective shunter diesel locomotive - a manuscript.

Thesis on reception scientific degree doctor of technical sciences for profession 05.22.07 - a rolling stock of the railways and train traction. - an Ukrainian state academy of the railway transport, Kharkov, 2006.

The Thesis contains the scientific bases, which allow complex and from united methodological position to solve a problem determinations of the features perspective shunter diesel locomotive. The Designed concept of the creation

shunter diesel locomotives allows to define their features, which will be the most rational with standpoint world technical level, possibilities of the producer, life cycle and other factor. For forecasting of the features is designed simulation models, on base which is determined dependencies of the factors and importance of the features for perspective locomotives. The Designed method and models of the estimation technical level on base of the system approach allow to define the technical level as shunter the diesel locomotive as a whole, so and its component. Dependencies of the cost of the life cycle are received from technical level of shunter diesel locomotive with electric transmission. The Offered system model of the service and repair for new shunter diesel locomotives.

The Keywords: shunter diesel locomotive, features of the locomotive, reliability, system of the service and repair, life cycle, technical level.

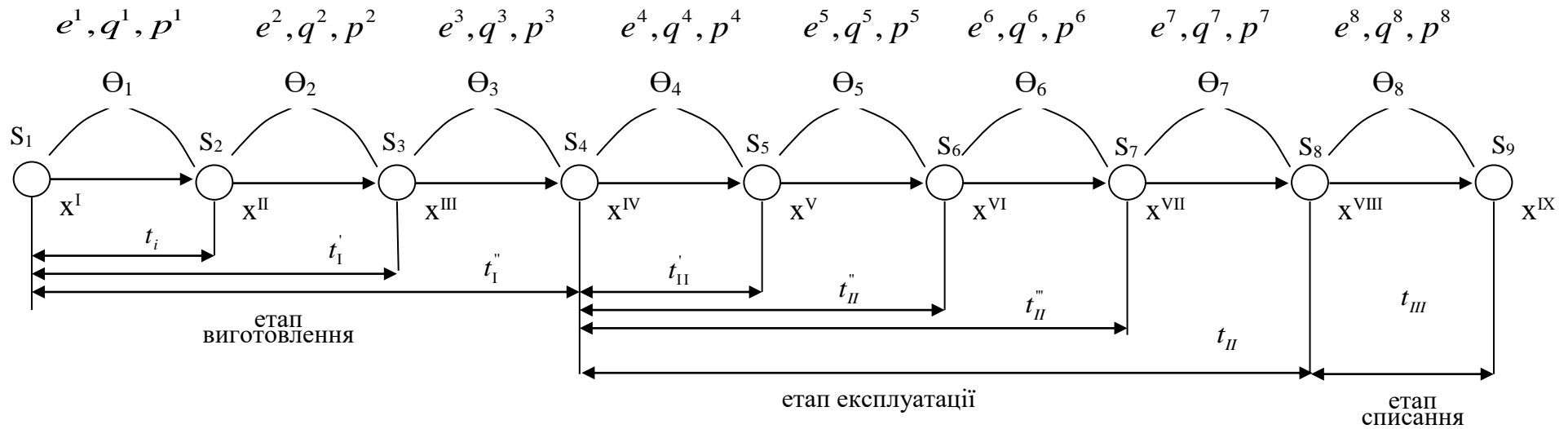


Рис. 1. Етапи життєвого циклу маневрового тепловоза

S_i – стани системи (S_1 – попередній план на момент розроблення технічних умов; S_2 – план-компенсації вибору показників на момент розроблення ТЗ; S_3 – план-компенсації вибору показників після виготовлення; S_4 – план-компенсації вибору показників після випробувань; S_5 – план-компенсації вибору показників в момент передачі замовнику; S_6 – план-компенсації вибору показників в момент редагування системи експлуатації, обслуговування та ремонту; S_7 – план-компенсації вибору показників в момент після проведення капітального ремонту; S_8 – план-компенсації вибору показників в момент кінця експлуатації; S_9 – план-компенсації вибору показників в момент утилізації).

Θ_i – етап системи; x^i – вектор значень показників в i -му стані;

e^i – вектор показників в i -му стані;

q^i – ваговий коефіцієнт показників системи в i -му стані;

p^i – імовірність переходу між станами системи;

t_i – тривалість етапу.

Фалендиш Анатолій Петрович

**Розвиток наукових основ визначення характеристик
перспективних маневрових тепловозів**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертація на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

Агулов А.Ф.

Підписано до друку " " 2006 р.
Формат паперу 60x84 1/16 Папір офсетний
Умовн.-друк.арк. 0,9 Обл.-вид. арк. 1,1
Замовлення № _____. Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК №112 від 06.07.2000 р.
Друкарня УкрДАЗТу
61050, Харків-50, пл. Фейсбаха, 7