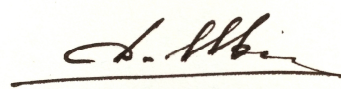


**Міністерство освіти і науки України  
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
імені академіка В. Лазаряна**



**ІВАНЧЕНКО ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ**

УДК 629.4.018:629.4.014.24

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ ПРИЙМАЛЬНИХ  
ВИПРОБУВАНЬ МОДЕРНІЗОВАНИХ ТЕПЛОВОЗІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі експлуатації та ремонту рухомого складу Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор  
**Фалендиш Анатолій Петрович,**  
Український державний університет залізничного транспорту,  
кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу, професор

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Капіца Михайло Іванович,**  
Дніпропетровський національний університет залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра локомотивів,  
завідувач кафедри;

кандидат технічних наук, доцент  
**Могила Валентин Іванович,**  
Східноукраїнський національний університет  
імені В. Даля, кафедра залізничного та автомобільного  
транспорту і підйомно-транспортних машин, професор.

Захист відбудеться « 03 » лютого 2017 р. о 11:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий « 29 » грудня 2016 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



І.В. Жуковицький

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

### **Актуальність теми дисертації**

В умовах необхідності оновлення тягового рухомого складу (ТРС) залізниць України постає проблема наукового обґрунтування його вибору та допуску до експлуатації. У зв'язку з цим постає ряд наукових задач, від вирішення яких залежить ефективне функціонування залізничного транспорту і, як наслідок, економіки в цілому.

Відповідно до державних програм, оновлення ТРС відбуватиметься як за рахунок закупівлі нового, так і модернізації існуючого парку локомотивів. Спільним завданням інженерів і науковців є забезпечення вибору, впровадження та допуску до експлуатації перспективного рухомого складу із сучасними технічними рішеннями і показниками світового рівня. Одним із напрямків вирішення цього завдання є удосконалення методів проведення випробувань ТРС.

Втрата зв'язків з науково-дослідними центрами, що забезпечували постановку у виробництво нового та модернізованого рухомого складу, негативно вплинула на стан локомотивного парку залізниць України. Особливо це позначилося на системі випробувань ТРС, оскільки ядро цієї науково-інженерної діяльності зосереджувалося у ВНДІЗТі. Крім того, підходи до методології випробувань будувалися на достатніх матеріальних ресурсах і не оптимізувалися з точки зору витрат на проведення випробувань. Таким чином, ефективність проведення випробувань ТРС забезпечувалася не раціональними методами їх проведення, а кількістю та обсягами коштовних експериментальних досліджень. Крім того, збільшувався негативний вплив на навколишнє середовище під час таких випробувань дизельного рухомого складу.

Відповідно до «Комплексної програми оновлення парку рухомого складу залізниць України на 2008–2020 роки», затвердженої Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 14.10.2008 р., № 1259, поставлено завдання поступового списання одиниць ТРС, що вичерпав свій ресурс, і закупівлі нового та модернізації існуючого рухомого складу. При цьому першочерговим завданням виступає випробування як нового, так і модернізованого ТРС для забезпечення їх надійності в експлуатації.

Мала кількість методологічних напрацювань та ефективної технології допуску модернізованого рухомого складу до експлуатації на залізницях України висуває ряд актуальних завдань із забезпечення науковими методами та положеннями ефективного проведення випробувань локомотивів.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами**

Дисертаційна робота виконана відповідно до «Комплексної програми оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки». Наукові результати дисертаційної роботи отримані в Українському державному університеті залізничного транспорту при виконанні науково-дослідних робіт: «Наукове обґрунтування структурних реформ в локомотивному господарстві залізниць України» (ДР 0108U000079), «Проведення порівняльних випробувань тепловозів з дизелями, що обладнані електронними регуляторами різних систем, розробка рекомендацій» (ДР 0107U006534), «Розробка програми-методики та проведення

порівняльних експлуатаційних випробувань модернізованого тепловоза серії М62М (виробництва «Rail Polska Sp. z o. o.») на економічну ефективність» (ДР 0110U003307), «Дослідження та розробка технічних рекомендацій з визначення раціональної системи технічного обслуговування та поточного ремонту модернізованих тепловозів М62 дизелями закордонного виробництва з урахуванням регіону їх експлуатації та конструктивних особливостей» (ДР 0111U007695), «Розробка проекту технічного завдання та програми приймальних випробувань модернізованого тепловоза серії М62 силовою установкою по проекту Rail Polska Sp. z o.o.» (ДР 0112U003129), «Розробка програми експлуатаційних випробувань на надійність модернізованих тепловозів М62 дизелями зарубіжного виробництва та проведення експлуатаційних випробувань на надійність» (ДР 0112U003130).

У виконанні вказаних науково-дослідних робіт автор брав безпосередню участь як відповідальний виконавець і виконавець.

### **Мета і задачі дослідження**

Метою дисертаційної роботи є вирішення науково-практичного завдання – підвищення ефективності проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів на основі використання удосконалених методів визначення обсягів випробувань.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі основні задачі:

- аналіз структури локомотивного парку залізниць України та перспектив його розвитку;
- аналіз методів вибору обсягів та видів випробувань нового та модернізованого тягового рухомого складу;
- розробка концепції проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів;
- систематизація видів випробувань та параметрів тепловоза, які визначаються під час приймальних випробувань;
- розробка формалізованого описання структурно-функціональної будови тепловоза для визначення параметрів та функцій, що перевіряються під час випробувань;
- розробка моделі вибору обсягу приймальних випробувань модернізованих тепловозів;
- оптимізація обсягу приймальних випробувань модернізованих тепловозів;
- прогнозування техніко-економічних показників модернізованих тепловозів за результатами приймальних випробувань.

*Об'єкт досліджень* – процес проведення приймальних випробувань тепловозів.

*Предмет досліджень* – методи визначення обсягів приймальних випробувань тепловозів.

### **Методи дослідження**

При виконанні дисертаційної роботи під час обробки статистичної інформації з випробувань тепловозів застосовано методи математичної статистики та теорії ймовірності. При дослідженні та систематизації видів випробувань та техніко-економічних показників тепловозів застосовано метод класифікації, теорія множин. При розробці методів визначення обсягів приймальних випробувань

використовувалися методи індукції, експертні методи та методи лінійного і динамічного програмування. Моделювання робочих процесів та характеристик тепловозів виконувалося за допомогою теорій подібності, інформації та методів прогнозування.

Достовірність теоретичних положень, висновків і рекомендацій роботи підтверджено результатами тягово-експлуатаційних випробувань модернізованих тепловозів серії М62 та ЧМЕЗ.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Вирішено наукове завдання підвищення ефективності проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів за рахунок оптимізації обсягів та програм випробувань на основі запропонованих методів.

*Вперше:*

- розроблена концепція проведення приймальних випробувань тепловозів, яка враховує використання розрахункових моделей та оптимізацію обсягів їх випробувань;

- розроблена модель визначення обсягів приймальних випробувань, яка враховує вплив змін, що були внесені під час модернізації, на значення параметрів тепловозів, та отримані залежності достовірності результатів і вартості випробувань від їх обсягу.

*Отримали подальший розвиток:*

- класифікація параметрів приймальних випробувань за видами з урахуванням композиції робочих процесів та показників функціонування тепловозів.

- формалізоване описання структурно-функціональної будови тепловоза в частині опису функцій та параметрів, що змінюються під час модернізації, яке дозволяє визначити обсяг модернізації тепловозів;

- модель визначення показників роботи тепловозів, яка на відміну від існуючих враховує параметри силових енергетичних підсистем та дозволяє проводити оптимізацію режимів руху поїзда за критерієм енергоефективності.

### **Практичне значення одержаних результатів**

Розроблені науково-обґрунтовані програми і методики приймальних випробувань, в яких використовуються результати теоретичних досліджень, що дозволяють зменшити вартість та тривалість випробувань тепловозів, вони включають в себе:

- порядок розробки програм та методик приймальних випробувань нових і модернізованих тепловозів;

- алгоритми обробки та плани збору статистичної інформації при проведенні приймальних та тягово-експлуатаційних випробувань тепловозів;

- моделі та методики прогнозування показників тепловозів із використанням даних їх випробувань;

- рекомендації з вибору раціональних режимів водіння поїздів з метою оптимізації паливної економічності.

Результати роботи впроваджено:

- у Державній адміністрації залізничного транспорту України при узгодженні програми-методики порівняльних експлуатаційних випробувань модернізованих тепловозів на економічну ефективність;

– у ТОВ «Рейл Ворлд Україна» при виконанні договорів про науково-технічну співпрацю та розробці програм-методик порівняльних експлуатаційних випробувань та програми-методики приймальних випробувань, а також при проведенні самих випробувань;

– у виробничий процес ДТГО «Львівська залізниця» при виконанні договорів про науково-технічну співпрацю та при розробці програм-методик експлуатаційних випробувань на працездатність, при проведенні самих випробувань, а також при розробці рекомендацій з обслуговування та ремонту модернізованих тепловозів типу М62;

– у навчальний процес підготовки бакалаврів, спеціалістів та магістрів за спеціальністю «Локомотиви та локомотивне господарство» Українського державного університету залізничного транспорту та Навчально-наукового інституту перепідготовки та підвищення кваліфікації кадрів при вивченні дисциплін «Випробування нового та модернізованого тягового рухомого складу», «Методологія інженерної та наукової роботи».

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами та матеріалами на впровадження.

#### **Особистий внесок здобувача**

Усі наукові результати роботи отримані особисто автором. У працях, написаних у співавторстві, дисертанту належить:

[1] – проведено аналіз характеристик та обробку даних порівняльних випробувань регуляторів для тепловозів ЧМЕЗ; [2] – розроблені математичні алгоритми для програмних засобів аналізу результатів випробувань; [3] – проведений аналіз наукових праць, направлених на вибір обсягів випробувань; [5] – розроблено методику описання структури параметрів управління енергетичної системи тепловоза; [7] – розроблений метод визначення обсягів випробувань; [9] – розроблена структурно-функціональна схема тепловоза; [10] – розроблена модель визначення робочих параметрів модернізованих тепловозів; [12] – обробка даних експлуатаційних випробувань регуляторів дизелів вантажних тепловозів; [13] – розраховані показники та характеристики надійності з використання прикладних програм; [14] – виконаний аналіз та оформлення результатів випробувань; [17] – розроблений уточнений метод визначення показників динаміки енергетичної системи тепловоза; [18] – виконане формалізоване описання задачі оптимізації обсягів випробувань тягового рухомого складу; [19] – розроблена модель вибору обсягів випробувань тягового рухомого складу; [20] - удосконалення моделей проведення випробувань тепловозів; [21] – збір, обробка статистичних даних та розрахунок показників надійності; [22] – обробка даних експлуатаційних випробувань регуляторів дизелів вантажних тепловозів; [23] – розрахунок параметрів конкурентоспроможності тягового рухомого складу; [24] - аналіз досвіду випробування електронних регуляторів тепловозних дизелів.

Всі роботи за темою дисертації проводилися в Українському державному університеті залізничного транспорту та на Львівській залізниці.

### **Апробація результатів дисертації**

Основні матеріали результатів дисертаційної роботи доповідалися й отримали схвалення на таких міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях:

IV Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології» (Україна, м. Київ, ДЕТУТ, 2008);

XII Міжнародна конференція «Проблеми механіки залізничного транспорту» (Україна, м. Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008);

IV Науково-практична міжнародна конференція «Впровадження наукоємних технологій на магістральному і промисловому залізничному транспорті» (Україна, м. Ялта, 2008);

I, III Науково-практичні конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (Україна, м. Красний Лиман, м. Донецьк, 2010, 2012 рр.);

75-та Міжнародна науково-технічна конференція (Україна, м. Харків, УкрДАЗТ, 2013);

Международная научно-техническая конференция «Локомотивы. XXI век» (Россия, г. Санкт-Петербург, 2013);

V Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (Англія, м. Лондон, 2014);

Міжнародна науково-практична конференція «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» (Україна, м. Трускавець, 2016).

Основні положення дисертації неодноразово доповідалися на засіданнях кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» УкрДУЗТ з 2008 по 2016 рр. Повністю дисертація доповідалась в 2016 р. на розширеному засіданні кафедри за участю членів спеціалізованої вченої ради.

**Публікації.** Відповідно до теми дисертації опубліковані 24 наукові праці, з яких 11 статей у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України (одна стаття включена до міжнародної наукометричної бази), дев'ять праць апробаційного характеру, чотири праці додатково відображають наукові результати дисертації.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота має вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки. Повний обсяг дисертації складає 177 сторінок, у тому числі 116 сторінок основного тексту, 9 таблиць, 32 рисунки, 5 додатків, список використаних джерел включає 125 найменувань.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету роботи, основні задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, подано інформацію про апробацію роботи і публікації основних результатів.

**Перший розділ** присвячений аналізу локомотивного парку залізниць України та аналізу видів та обсягів проведення приймальних випробувань ТРС. Проаналізовані шляхи та обсяги модернізації тепловозів.

Аналіз парку показав, що практично всі одиниці ТРС залізниць України вичерпали встановлений термін служби і морально застаріли. Відставання оновлення парку вплинуло і на розвиток наукових розробок з вивчення характеристик локомотивів та їх випробування. Існуючий парк представлений тепловозами серій 2ТЕ10, 2ТЕ116, М62, 2М62, ЧМЕЗ та ін., які розроблювалися більше 40 років назад. Тому постає проблема оновлення локомотивного парку залізниць України. В державних програмах оновлення ТРС передбачена як закупівля нових тепловозів, так і модернізація існуючих. Другий варіант в сучасних умовах виступає більш актуальним, оскільки коштів для закупівлі нового ТРС недостатньо. Із врахуванням наявного парку тепловозів М62 та ЧМЕЗ, які фізично ще не вичерпали свій ресурс, вони можуть бути модернізовані з подовженням терміну служби. Таким чином, виникає наукова необхідність розробки підходів проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів.

Існуючі підходи отримали розвиток в умовах, коли система теоретичних знань про функціонування тепловозів формувалась за рахунок значного обсягу досліджень окремих конструкцій вузлів та дослідних поїздок під час випробувань. Ситуація змінилась з появою потужних ЕОМ та програм до них, що дозволяють розрахувати значну кількість параметрів під час комп'ютерного моделювання і тим самим скоротити обсяг коштовних натурних випробувань, з одного боку. А з іншого, на базі накопичених знань теорії конструкції локомотивів сформувалися готові, перевірені часом технічні рішення, розвиток яких перейшов від етапу пошуку та синтезу форм до етапу оптимізації конструкції та її адаптації до умов експлуатації. Таким чином, існуюча концепція проведення всебічних приймальних випробувань не виправдовує значні витрати і вимагає удосконалення, особливо для модернізованих тепловозів.

Питанням проведення випробувань ТРС присвячено багато наукових розробок, виконаних на базі таких наукових установ, як НДКТИ УЗ, ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, УкрДУЗТ, СНУ ім. В. Даля, УкрНДІВ, ВНДІЗТ, ПАТ «ХК Луганськтепловоз» та ін. Найбільш вагомий внесок в цьому напрямку зробили такі вчені: Басов Г.Г., Боднар Б.Є., Голубенко О.Л., Головінов Г.Г., Горбунов М.І., Горобець В.Л., Грищенко С.Г., Гундар В.П., Донченко А.В., Дьомін Р.Ю., Дьомін Ю.В., Капіца М.І., Маслієв В.Г., Матяш В.О., Могила В.І., Мокроусов С.Д., Мямлін С.В., Носков В.І., Тартаковський Е.Д., Ткаченко В.П., Фалендиш А.П., Черняк Г.Ю., Черняк Ю.В. та ін. У своїх роботах вони розглядають, в основному, результати окремих видів випробувань та випробування підсистем ТРС. Але в працях вказаних вчених недостатньо уваги приділено методам вибору видів та обсягів випробувань і прогнозуванню характеристик ТРС з використанням результатів випробувань.

Розгляд вимог щодо проведення приймальних випробувань показав недостатню кількість робіт з вибору видів випробувань та використання результатів випробувань для прогнозування техніко-економічних характеристик модернізованих тепловозів.



У другому розділі запропонована концепція приймальних випробувань, яка направлена на визначення та обґрунтування обсягів приймальних випробувань модернізованих тепловозів із застосуванням розрахункових моделей визначення їх показників, що зменшить обсяг натурних випробувань та дозволить скоротити витрати на проведення приймальних випробувань. Для реалізації концепції запропоновані такі етапи:

1 Визначення множини видів приймальних випробувань тепловозів та множини параметрів, що характеризують якість тепловозів.

2 Оцінка впливу змін, внесених під час модернізації, на властивості вихідного тепловоза.

3 Формування множин випробувань, які входять в приймальні випробування модернізованих тепловозів, та їх обсягів :

$V_1$  – обов'язкові випробування згідно з нормативними вимогами,

$V_2$  – попередні та/або заводські випробування, які можуть зараховуватись як приймальні,

$V_3$  – випробування, які можуть не проводитись, оскільки визначають показники, на значення яких не впливають зміни, що були внесені під час модернізації,

$V_4$  – випробування, які можуть не проводитись, оскільки визначають параметри, значення яких однозначно оцінюються експертним або розрахунковим шляхом,

$V_5$  – необов'язкові випробування, обсяг яких визначається оптимізацією за критерієм вартості або часу їх проведення при заданих значеннях критеріїв достовірності показників надійності, економічності та безпеки.

4 Визначення показників модернізованих тепловозів за розрахунковими моделями та видів випробувань, на яких вони визначаються.

5 Проведення приймальних випробувань модернізованого тепловоза.

Приймальні випробування були систематизовані за ознаками місця, мети, умов їх проведення згідно з нормативною документацією. Також виділені ознаки типів обладнання, яке випробовується, і показників, що характеризують якість тепловозів у відповідному аспекті.

Також систематизовані види випробувань в залежності від фізичної природи робочих процесів, що характеризують властивості та характеристики об'єкта випробувань. Групування за цими ознаками можливо застосовувати при виборі видів випробувань для модернізованого ТРС. Результати систематизації подано на рисунку 1.

Приймальні випробування тепловоза мають завдання з визначення відповідності деякої множини аспектів вимогам, що забезпечують ефективне використання тепловозів в експлуатації на залізницях. Обсяг цієї множини визначався через множину систем, що складають тепловоз; множину функцій, які повинні забезпечити використання тепловозів в експлуатації; множину вимог, що висуваються до тепловоза в цілому та до його окремих підсистем.

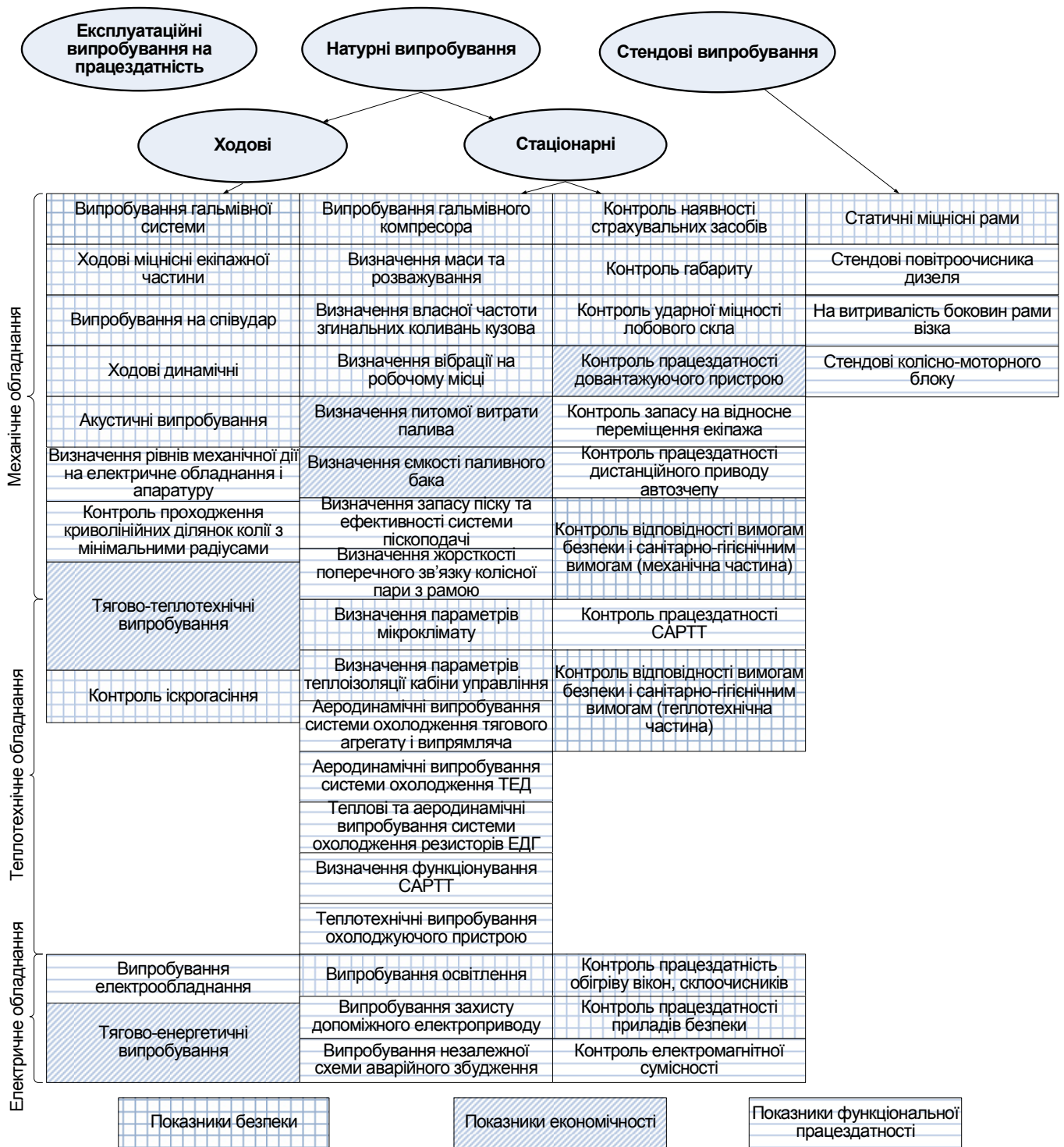
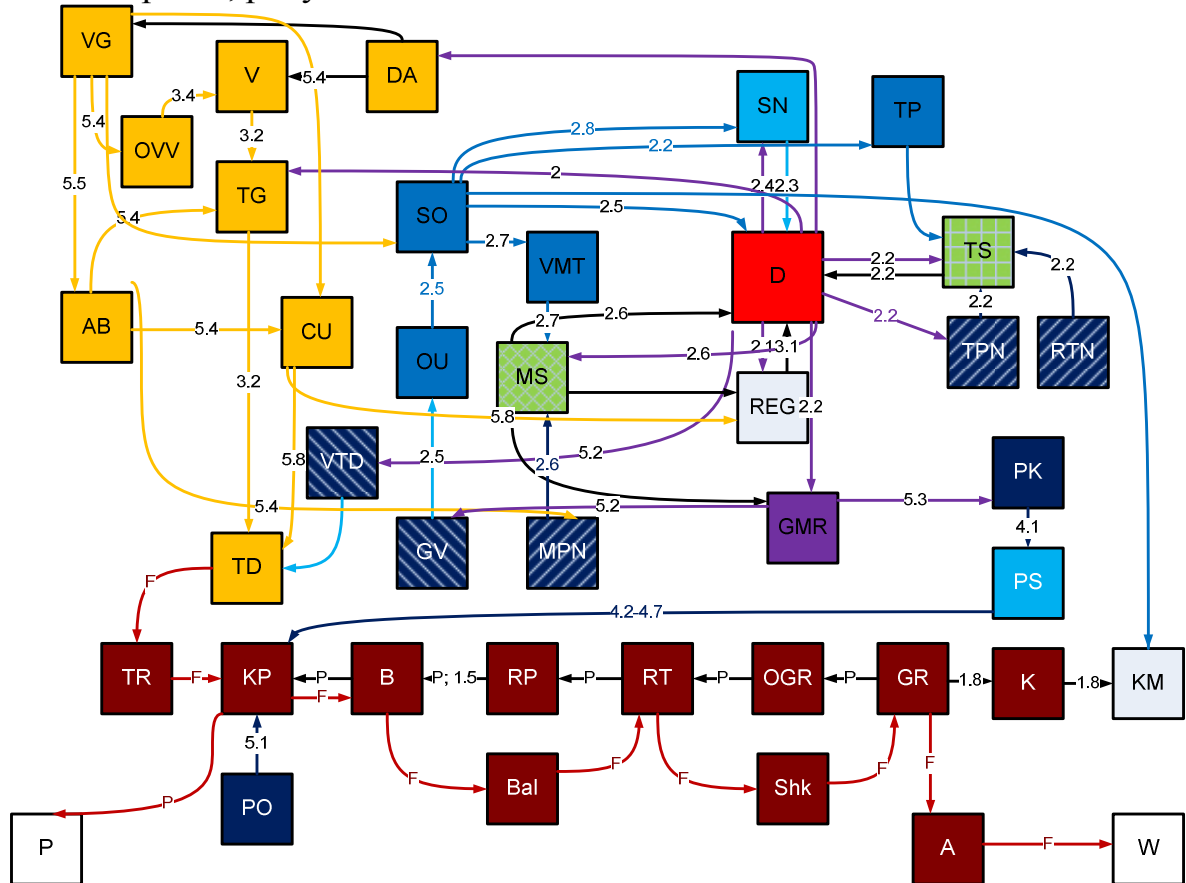


Рисунок 1 - Систематизація видів приймальних випробувань тепловозів

Множина систем  $S$  вміщує в себе як базові елементи, що характеризують локомотив саме як тепловоз (системи: дизель, передача потужності, екіпаж, допоміжне обладнання та автогальмування), так і системи, що надбудовувалися в процесі розвитку конструкції та функціональності тепловозів (електропривод допоміжних систем, електронні блоки керування, контролю та захисту, електронні регулятори, системи центрального повітропостачання та ін.).

Дані елементи множини  $S$  об'єднуються в такі підмножини: механічне обладнання  $M \subseteq S$ ; електричне обладнання  $E \subseteq S$ ; теплотехнічне обладнання  $T \subseteq S$ .

Для визначення множин структурних елементів та їх функцій розроблена структурно-функціональна схема тепловоза. Вона являє собою графову модель, у вершинах якої розміщуються структурні елементи – підсистеми тепловоза, що об'єднуються у відповідну систему. Від кожної вершини виходять ребра, що відповідають функціям, які направлені до іншої вершини відповідно до передачі енергії, матеріалу, інформації та інших впливів. Для прикладу така схема подана для тепловоза з електричною передачею, які проходить тепер різні види модернізацій на залізницях України, рисунок 2.



VG – допоміжний генератор; V – збуджувач; DA – двомашинний агрегат; SN – система наддування; TP – паливопідігрівач; OVV – обмотка збудження збуджувача; TG – тяговий генератор; SO – система охолодження; VMT – водомасляний теплозмінник; D – дизель; TS – паливна система; AB – акумуляторна батарея; CU – система управління; OU – охолоджуючий пристрій; MS – масляна система; REG – регулятор ЧОтаП; TPN – паливний насос; RTN – ручний паливний насос; VTD – вентилятор охолодження тягових електродвигунів; PK – пневматичний компресор; TD – тяговий електродвигун; GV – головний вентилятор; MPN – маслопрокачувальний насос; GMR – гідромеханічний редуктор; PS – пневматична система; TR – тяговий редуктор; KP – колісна пара; B – букса; RP – ресорне підвішування; RT – рама візка; OGR – опора головної рами; GR – головна рама; K – кузов; KM – кабіна машиніста; P – колія; PO – пісочне обладнання; Bal – балансири; Shk – шкворень; A – автозчеп; W – вагон.

Рисунок 2 - Структурно-функціональна схема тепловоза

У третьому розділі поставлена та вирішена задача оптимізації обсягу приймальних випробувань модернізованих тепловозів.

На основі запропонованої концепції визначені множини параметрів, які перевіряються під час приймальних випробувань модернізованих тепловозів. Для цього виконана оцінка впливу змін, внесених під час модернізації, на характеристики вихідного тепловоза по критеріям структурної, функціональної та техніко-економічної інформативності. Це дозволило встановити залежність обсягу випробувань від обсягів модернізації.

Для визначення обсягу приймальних випробувань розглянута оптимізаційна задача. Як цільова функція вибрана сумарна вартість проведення приймальних випробувань:

$$\sum_{i=1}^N c_i \cdot u_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $c_i$  - вартість проведення  $i$ -го випробування;

$u_i$  - змінна, яка визначає обсяг випробувань;  $u_i = 0$ , якщо  $i$ -те випробування не проводиться;  $u_i = 1$ , якщо  $i$ -те випробування проводиться;

$N$  - кількість випробувань.

Мінімум вартості повинен досягатися при виконанні таких умов:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N t_i \cdot u_i \leq T, \sum_{i=1}^N b_i \cdot u_i \geq B, \\ \sum_{i=1}^N r_i \cdot u_i \geq R, \sum_{i=1}^N e_i \cdot u_i \geq E \end{cases}, \quad (2)$$

де  $t_i$  - час на проведення  $i$ -го випробування;

$T$  - відведений час на проведення приймальних випробувань;

$b_i, r_i, e_i$  - вагові коефіцієнти, які враховують вплив змін на показники відповідно безпеки, надійності, економічності, які перевіряються під час  $i$ -тих випробувань;

$B, R, E$  - критерії безпеки, надійності, економічності для модернізованих тепловозів,  $K = (B, R, E), 0 < K \leq 1$ .

Для визначення коефіцієнтів  $b_i$  були досліджені причини транспортних подій, викликаних відмовами обладнання і систем тепловоза. Коефіцієнти  $r_i, e_i$  визначалися експертним шляхом.

Залежність достовірності визначення показників безпеки, надійності і економічності від витрат на випробування наведено на рисунках 3, 4. За результатами моделювання також отримані криві витрат і часу на приймальні випробування, в залежності від їх кількості, рисунок 5.

Залежності критеріїв, що характеризують достовірності визначення показників безпеки, надійності і економічності від витрат на випробування були апроксимовані рівняннями (рисунок 3-5).

В результаті моделювання було вибрано 33 види випробувань. Вартість проведення склала 4750 тис. грн, час проведення 690 годин. При цьому критерії показників безпеки склали 0,96, показників надійності 0,915, показників економічності 0,93.

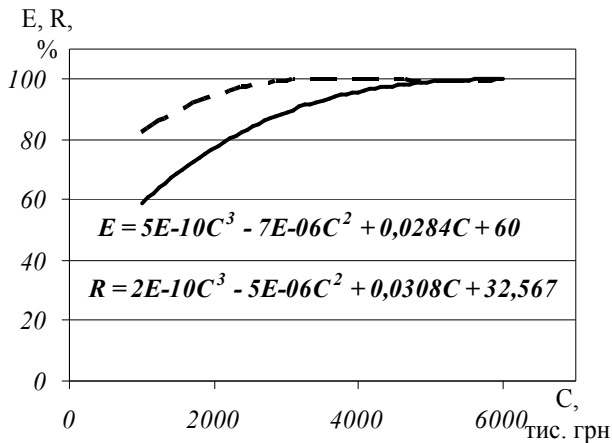


Рисунок 3 - Залежність достовірності показників надійності та економічності від витрат на випробування

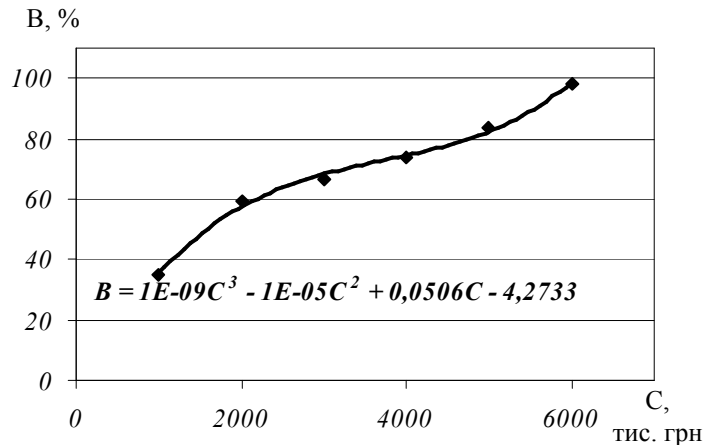


Рисунок 4 - Залежність достовірності показників безпеки від витрат на випробування

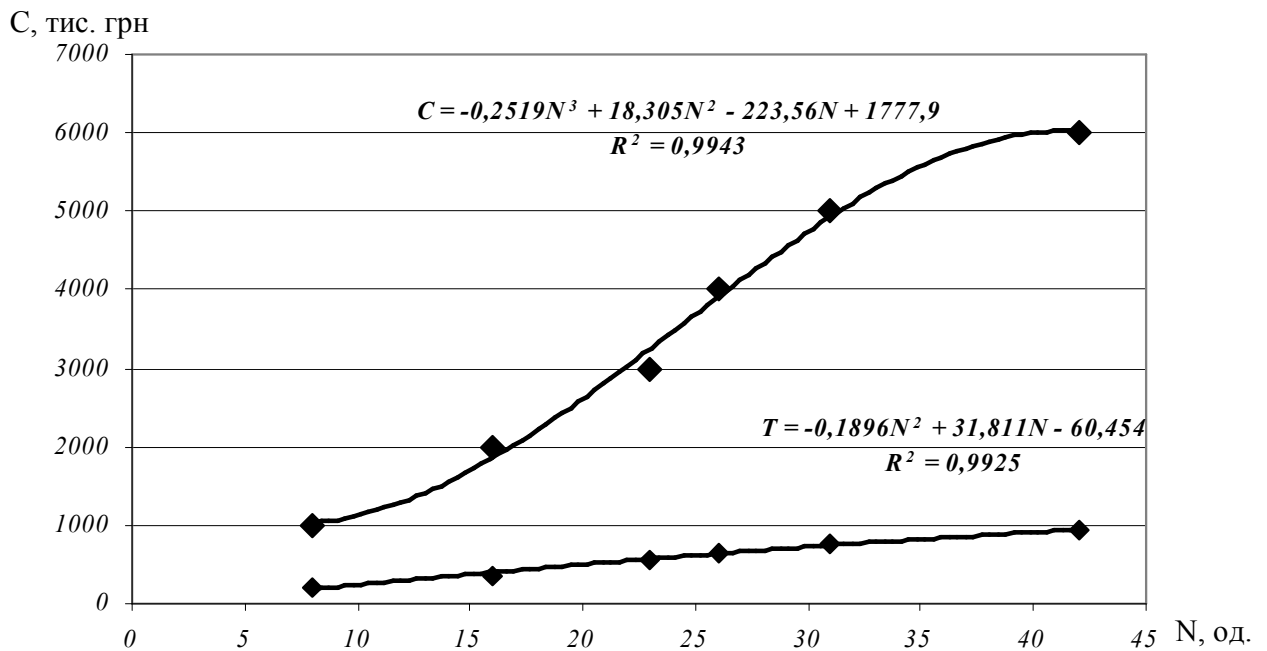


Рисунок 5 - Залежність витрат і часу на випробування від кількості випробувань

У четвертому розділі запропоновані моделі визначення показників роботи модернізованих тепловозів з урахуванням результатів приймальних випробувань.

Розроблена модель описує роботу основних вузлів тепловоза, від яких залежать показники функціонування, вимоги до яких вказані в технічному завданні на тепловоз та інших нормативних документах. В результаті використання моделі були отримані значення робочих параметрів, за якими можливо отримати характеристики механічного руху, електричних, теплових, пневматичних процесів, а саме потужності, сили тяги, швидкості, напруги, сили струму, температури, тиску та ін. Ці характеристики далі порівнювались з запроєктованими і заявленими відповідно до документації виробника. Завданням роботи є підтвердження адекватності моделі та формування висновків щодо модернізованого тепловоза як об'єкта випробувань.

Склад моделі відображає конструкцію та принципи роботи тепловоза і містить такі моделі: силової установки (двигуна внутрішнього згорання) тепловоза; тягової електричної передачі; руху поїзда з врахуванням умов експлуатації.

В результаті моделювання отримані основні характеристики тепловозів.

Основні параметри тягової передачі розраховуються за такими залежностями:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_o = \frac{V_T \mu_{zn}}{3,6 R_k}, \sum M_o = \frac{F_T R_k}{\eta_{zn} \mu_{zn}}, M_o = \frac{\sum M_o}{6}, P_t = \frac{M_o \omega_o}{1000}, I_o = \frac{I_\Gamma}{6}, \Phi_o = \frac{M_o}{0,98 C_o I_o}, \\ E_o = C_o \Phi_o \omega_o, U_o = E_o + I_o R_o, P_\Gamma = \frac{6 U_o I_o}{1000}, E_\Gamma = U_\Gamma + I_\Gamma R_\Gamma, \Phi_\Gamma = \frac{E_\Gamma}{C_\Gamma \omega}, M_{e\Gamma} = C_\Gamma \Phi_\Gamma I_\Gamma, \\ \eta_\Gamma = \frac{0,96 U_\Gamma}{E_\Gamma}, P_D = \frac{P_\Gamma}{\eta_\Gamma}, M_D = \frac{1000 P_D}{\omega}, G_f = M_e \omega g_e 10^{-6}, g_c = \frac{1000 \pi G_f}{30^2 \omega} \end{array} \right. (3)$$

де  $\omega_o, M_o, P_t, I_o, \Phi_o, C_o, E_o, U_o, R_o$  - відповідно кутова швидкість вала, сумарний момент, потужність, сила струму, магнітний потік, конструкційна постійна, ЕРС, напруга, опір тягових електродвигунів;  $V_T$  - швидкість тепловоза;  $\mu_{zn}$  - передаточне відношення тягової зубчастої передачі;  $R_k$  - радіус колеса;  $F_T$  - сила тяги;  $\eta_{zn}$  - ККД зубчастої передачі;  $P_\Gamma, U_\Gamma, E_\Gamma, I_\Gamma, R_\Gamma, \Phi_\Gamma, C_\Gamma, M_{e\Gamma}, \eta_\Gamma$  - відповідно потужність, напруга, ЕРС, сила струму, опір, магнітний потік, конструкційна постійна, електромагнітний момент, ККД тягового електродвигуна;  $P_D, M_D, G_f, \omega, g_e, g_c$  - відповідно потужність, момент, витрата палива, кутова швидкість колінчатого вала, питома ефективна витрата палива, циклова витрата палива дизеля.

Динамічна модель розрахунку параметрів руху поїзда формується на основі диференціальних рівнянь, що описують залежність параметрів робочих процесів дизеля, отриманих при їх моделюванні, і параметрів руху поїзда з врахуванням моделювання параметрів передачі потужності. Рівняння динамічної моделі:

$$\left\{ \begin{array}{l} J \cdot \chi'(t) - a \cdot \chi(t) \cdot m(t) - b \cdot m(t) + C_g \cdot k_\phi \cdot \chi(t) \cdot \frac{6 \cdot C_g \cdot k_\phi \cdot \chi(t) \cdot \left(\frac{\pi}{30}\right) \cdot \chi(t)}{C_t \cdot k \cdot \omega(t) + (R_a + 6 \cdot R_G)} = 0 \\ J_p \cdot \omega'(t) - 0,9 \cdot 6 \cdot C_t \cdot k \cdot \left[ \frac{C_g \cdot k_\phi \cdot \chi(t) \cdot \left(\frac{\pi}{30}\right) \cdot \chi(t)}{C_t \cdot k \cdot \omega(t) + (R_a + 6 \cdot R_G)} \right]^2 + \\ \left[ \left[ (1,9 + 0,008 \cdot 0,427 \cdot \omega(t) + 0,00025 \cdot (\omega(t) \cdot 0,427)^2 \right) \cdot m_l \cdot 9,81 + \right. \\ \left. \left[ 0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot \omega(t) \cdot 0,427 + 0,002 \cdot (\omega(t) \cdot 0,427)^2}{q} \right] \cdot m_s \cdot 9,81 \right] \cdot k_{fc} = 0 \end{array} \right. , (4)$$

де  $J$  - момент інерції дизеля;  $\chi(t)$  - кутова швидкість колінчатого вала дизеля;  $a, b$  - емпіричні коефіцієнти;  $m(t)$  - координата положення органу подачі палива;  $C_g$  - конструкційна постійна тягового генератора;  $k, k_\phi, k_{fc}$  - коефіцієнт пропорційності;  $C_t$  - конструкційна постійна тягового електродвигуна;  $\omega(t)$  - кутова швидкість колісних пар;  $R_a$  - електричний опір тягового електродвигуна;  $R_G$  - електричний опір тягового генератора;  $J_p$  - момент інерції поїзда;  $m_l, m_s$  - відповідно маса локомотива, маса складу;  $q$  - навантаження на вісь.

При використанні розглянутих моделей необхідно використовувати тягові характеристики модернізованих і штатних тепловозів. Тягові розрахунки виконувалися для існуючих тепловозів М62 за запропонованою програмою, за результатами яких отримані техніко-економічні показники і характеристики, які порівнювалися з даними поїздок для перевірки на адекватність. Визначені відносна та абсолютні похибки тягових характеристик, які не перевищують 1,2 %.

Після того проводилися розрахунки для визначення техніко-економічних показників і характеристик модернізованих тепловозів з використанням даних, отриманих під час випробувань.

В результаті проведеної процедури пошукової оптимізації знайдено режим руху поїзда з модернізованим тепловозом М62М та проведені відповідні тягові розрахунки. Таким чином, отримані наступні показники руху поїзда. При масі поїзда 3420 т часа ходу по дільниці 94,8 хв, при середньотехнічній швидкості 45,6 км/год витрата палива склала 219,3 кг, питома витрата палива 9,2 кг/10<sup>4</sup> ткм брутто.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-практичне завдання удосконалення методів визначення обсягів приймальних випробувань модернізованих тепловозів. Отримано такі результати:

1. Проведено аналіз існуючого парку локомотивів залізниць України, визначено розподілення парку тепловозів за роками побудови, терміном служби, за

типами та серіями. Даний аналіз показав істотну зношеність наявного парку тепловозів, його моральну та фізичну застарілість. Встановлено, що найбільш перспективним шляхом оновлення ТРС є модернізація існуючих тепловозів з подовженням терміну служби до 15 років за умови позитивних висновків щодо стану основних несучих конструкцій. Виявлена необхідність у розробці нових підходів до проведення приймальних випробувань та запропоновані удосконалені методи визначення обсягів приймальних випробувань модернізованих тепловозів.

2. Аналіз існуючого досвіду та наукових положень щодо випробувань ТРС свідчить, що для вирішення завдання визначення обсягів приймальних випробувань необхідний системний підхід, який має пов'язувати між собою показники якості, параметри функціонування і характеристики тепловозів з вартісними показниками впродовж життєвого циклу.

3. Існуючі положення по приймальних випробувань тягового рухомого складу в цілому не враховують сучасних конструкцій і технологій виготовлення деталей та вузлів локомотивів, а також систем забезпечення якості, які впроваджені тепер і розвиваються в локомотивобудівельному виробництві та машинобудуванні. Проведений аналіз видів випробувань тепловозів показав відсутність обґрунтованих положень по вибору їх обсягів для модернізованих тепловозів.

4. Розроблена концепція проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів, яка враховує використання розрахункових моделей та оптимізацію обсягів їх випробувань. Для обґрунтування вибору обсягів приймальних випробувань застосовується підхід, що базується на математичному моделюванні і дозволяє знизити витрати на проведення приймальних випробувань при забезпеченні необхідної достовірності їх результатів.

5. Запропоновано класифікацію видів та параметрів приймальних випробувань за видами з урахуванням композиції робочих процесів та показників функціонування тепловозів, що дозволяє визначити які характеристики треба застосовувати для визначення доцільності модернізації та допуску модернізованих тепловозів до експлуатації. Систематизовані параметри можуть використовуватися для оцінки характеристик безпеки, надійності та економічності модернізованих тепловозів.

6. Розроблене формалізоване описання структурно-функціональної будови тепловозів, яке дозволяє визначити зміни функціональних зв'язків, що впливають на показники роботи модернізованих тепловозів. На основі даного описання визначаються параметри та функції, які доцільно перевіряти під час проведення приймальних випробувань.

7. Розроблена оптимізаційна модель вибору видів приймальних випробувань модернізованих тепловозів за запропонованими критеріями ефективності – вартістю та часом проведення приймальних випробувань. Модель враховує вплив змін, що були внесені під час модернізації, на значення параметрів тепловозів. В результаті реалізації моделі побудовані залежності критеріїв достовірності результатів і вартості випробувань від обсягу. Це дозволить скоротити витрати на проведення приймальних випробувань та час допуску тепловозів до експлуатації.

8. За запропонованими моделями розроблена програма приймальних випробувань модернізованого тепловоза М62М, що складається з 33 видів



випробувань вартістю 4 млн 750 тис. грн. При цьому достовірність показників безпеки – 0,96; показників надійності – 0,91; економічності – 0,93.

9. Удосконалені моделі визначення техніко-економічних параметрів та характеристик тепловозів, які використовуються при прогнозуванні показників модернізованих тепловозів. Вони дозволяють скороти загальний обсяг натурних випробувань, що зменшує вартість та час проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів.

10. Удосконалений метод тягово-енергетичних розрахунків, у якому використовуються результати приймальних випробувань тепловозів, що дозволяє проводити оптимізацію режимів руху поїзда на випраній ділянці експлуатації за критерієм енергоефективності.

11. По результатам випробувань модернізованого тепловоза М62М було перевірено запропоновані моделі на адекватність. Встановлена розбіжність експериментальних та теоретичних розрахунків на рівні 5 %. Отриманий ефект від скорочення витрат на проведення випробувань – 2,7 млн. грн. Додатково отриманий ефект від оптимізації руху поїзда – понад один млн. грн на рік для одного рейсу по заданій ділянці. Сумарний ефект від запропонованих заходів склав понад 3 млн. грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

1. Тартаковський, Е.Д. Експлуатаційні порівняльні випробування регуляторів різних типів на тепловозах ЧМЕЗ [Текст] / Е.Д. Тартаковський, А.П. Фалендиш, О.В. Басов, Д.А. Іванченко // Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. - № 96. – С. 13-19.

2. Фалендиш, А.П. Використання сучасного програмного забезпечення для аналізу результатів випробувань тягового рухомого складу [Текст] / А.П. Фалендиш, С.Г. Жалкін, Н.Д. Чигирик [та ін.]// Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – № 99. – С. 34-38.

3. Фалендыш, А.П. Анализ работ по проведению и выбору объемов испытаний тягового подвижного состава [Текст] / А.П. Фалендыш, С.Г. Жалкин, Д.А. Иванченко // Збірник наукових праць. - Харків: УкрДАЗТ, 2009. - № 108. – С. 24-28.

4. Іванченко, Д.А. Випробування тягового рухомого складу залізниць [Текст] / Д.А. Іванченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім. Володимира Даля, 2010. – № 1 (143). Ч.2. – С. 72-75.

5. Білецький, Ю.В. Аналіз структури параметрів управління енергетичної системи тепловоза [Текст] / Ю.В. Білецький, Д.А. Іванченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ імені Володимира Даля, 2012.– № 5 (176). Ч.1. – С. 72-75.

6. Іванченко, Д.А. Метод розрахунку статичних та динамічних параметрів і характеристик дизель-генератора тепловоза [Текст] / Д.А. Іванченко // Вісник

Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ імені Володимира Даля, 2013. – № 4 (193). – С. 83-85.

7. Матяш, В.О. Метод визначення обсягів випробувань тягового рухомого складу на основі бази технічних рішень [Текст] / В.О. Матяш, Д.А. Іванченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ імені Володимира Даля, 2014. – № 3 (210). – С. 86-89.

8. Іванченко, Д.А. Методы и модели выбора объема испытаний модернизированного тягового подвижного состава [Текст] / Д. А. Іванченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. - 2015. - № 1. - С. 257-261.

9. Фалендиш, А.П. Розробка структурно-функціональної схеми тепловоза як об'єкта випробувань [Текст] / А. П. Фалендиш, Д. А. Іванченко // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології. – К., 2015. - Вип. 26-27. - С. 118-124.

10. Фалендиш, А.П. Моделювання робочих параметрів модернізованих тепловозів як об'єктів випробувань [Текст] / А.П. Фалендиш, Д.А. Іванченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 2016. - № 1. - С. 71-76.

*Публікації у виданнях іноземних держав та виданнях України, що зареєстровані у міжнародних наукометричних базах:*

11. Ivanchenko, D. Improvement of methods and models of choice of types of acceptance trials of modernized locomotives [Text] / D. Ivanchenko // Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». – 2016. – № 2. – P. 108–112.

#### **Опубліковані праці апробаційного характеру:**

12. Тартаковський, Е.Д. Використання електронних регуляторів на тепловозах залізниць України [Текст] / Е.Д. Тартаковський, А.П. Фалендиш, О.В. Басов [та ін.]// Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: матеріали IV НПК, серія «Техніка, технологія». – К.: ДЕДУТ, 2008. – С. 107-108.

13. Фалендиш, А.П. Пакет прикладних програм для визначення характеристик та систем обслуговування локомотивів для залізниць України / А.П. Фалендиш, П.О. Харламов, Д.М. Коваленко, Д.А. Іванченко // Проблемы механики железнодорожного транспорта: XII Международная конференция. Тезисы докладов. – Днепропетровск: ДНУЖТ, 2008. – С. 163.

14. Тартаковский, Э.Д. Результаты эксплуатационных испытаний электронных регуляторов на маневровых тепловозах [Текст] / Э.Д. Тартаковский, А.В. Устенко, А.П. Фалендыш, А.Ф. Агулов, А.В. Басов, Д.А. Иванченко // Тезисы докладов IV Научно-практической международной конференции «Внедрение наукоемких технологий на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте». – Ялта 2008. – С. 5.

15. Іванченко, Д.А. Критерії оцінки результатів випробувань тягового рухомого складу залізниць [Текст] / Д.А. Іванченко // Інноваційні технології на залізничному транспорті: зб. наук. праць конф., 23-25 вересня 2010 р., м. Красний Лиман. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2010.

16. Іванченко, Д.А. Параметри управління енергетичної системи тепловоза [Текст] / Д.А. Іванченко // Інноваційні технології на залізничному транспорті: зб. наук. праць конф., 13-15 вересня 2012 р., Донецьк-Красний Лиман. – Луганськ: СНУ ім. Володимира Даля, 2012.

17. Іванченко, Д.А. Метод дослідження динаміки енергетичної системи тепловоза [Текст] / Д.А. Іванченко, А.Ф. Агулов, Ю.В. Білецький, О.В. Камчатний // Тези доповідей 75-ї міжнародної науково-технічної конференції. Збірник наукових праць УкрДАЗТ, - Харків: УкрДАЗТ, 2013. - вип. 136. - С. 321.

18. Іванченко, Д.А. Оптимизация объема приемочных испытаний тягового подвижного состава железных дорог [Текст] / Д.А. Иванченко, А.В. Камчатный // Локомотивы. XXI век: сб. мат. Международной научно-технической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения д.т.н., профессора Е.Я. Гаккель, 2013 г., Санкт-Петербург (Россия). – СПб: ПГУПС, 2013.

19. Іванченко, Д.А. Модель вибору обсягів випробувань тягового рухомого складу [Текст] / Д.А. Іванченко, В.О. Матяш, А.Ф. Агулов // Інноваційні технології на залізничному транспорті: зб. тез V МНП конф., 31 березня – 7 квітня 2014 р., Лондон (Англія). – Луганськ: СНУ ім. Володимира Даля, 2014.

20. Зінківський, А.М. Застосування удосконалених моделей при проведенні експлуатаційних випробувань нових тепловозів [Текст] / А.М. Зінківський, Д.А. Іванченко, М.І. Брагін // Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи: зб. тез МНП конф., 11-17 квітня 2016 р., м. Трускавець (Україна). – Сєверодонецьк, 2016.

**Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

21. Фалендиш, А.П. Аналіз надійності роботи і шляхи підвищення ресурсу тягових електродвигунів / А.П. Фалендиш, О.А. Циганок, Д.А. Іванченко [Текст] // Збірник наукових праць. - Харків: УкрДАЗТ, 2007. - № 80. - С. 10-18.

22. Фалендиш, А.П. Використання регуляторів дизелів різних типів на вантажних тепловозах / А.П. Фалендиш, А.Ф. Агулов, Д.А. Іванченко, Є.В. Бондаренко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Vsunud/2008-1E/08faptvt.htm>

23. Крашенінін, О.С. Оцінка конкурентоспроможності нового тягового рухомого складу [Текст] / О.С. Крашенінін, Д.А. Іванченко, Є.В. Бондаренко, О.О. Шапатіна // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ: СНУ ім. Володимира Даля, 2008. – № 5 (123). Ч.1. – С. 201-204.

24. Тартаковський, Е.Д. Використання на тепловозах електронних регуляторів дизелів [Текст] / Е.Д. Тартаковський, А.П. Фалендиш, А.Ф. Агулов [и др.]. // Двигатели внутреннего сгорания 1. – Харьков, 2008. – С.137-140.

## АНОТАЦІЯ

Іванченко Д.А. Удосконалення методів визначення обсягів приймальних випробувань модернізованих тепловозів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна МОН України, Дніпропетровськ, 2016.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню науково-технічного завдання підвищення ефективності проведення приймальних випробувань тепловозів на основі використання удосконалених методів вибору обсягів випробувань.

Проаналізовані шляхи оновлення тягового рухомого складу та поставлено питання визначення обсягів приймальних випробувань модернізованих тепловозів. Для вирішення цього питання розроблена нова концепція випробувань, яка дозволяє визначити основні техніко-економічні показники модернізованих тепловозів та прийняти рішення про запровадження їх у виробництво та/або до експлуатації на залізницях.

Для проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів визначено їх обсяг, оптимізований за критеріями достовірності результатів випробувань та вартістю їх проведення. В основу удосконаленого методу визначення обсягів випробувань покладено оптимізацію вибору видів приймальних випробувань модернізованих тепловозів за критеріями ефективності, а саме вартістю на проведення та часом проведення випробувань.

Поданий новий підхід до визначення обсягів приймальних випробувань модернізованих тепловозів, що базується на широкому використанні розрахунково-експериментальних моделей визначення основних параметрів, які характеризують роботу тепловозів.

На основі запропонованих нових моделей були отримані результати досліджень, які використовувались для визначення техніко-економічних показників модернізованих тепловозів.

*Ключові слова:* оновлення парку локомотивів, модернізація тепловозів, приймальні випробування, оптимізація обсягу, математичне моделювання, тяга поїздів, режими руху.

## АННОТАЦИЯ

Иванченко Д.А. Совершенствование методов определения объемов приемочных испытаний модернизированных тепловозов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов. Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2016.

Диссертационная работа посвящена решению актуального научного задания – повышению эффективности проведения приемочных испытаний модернизированных тепловозов. В работе содержатся научные положения, позволяющие эффективно проводить приемочные испытания модернизированных тепловозов для железных дорог Украины.

В результате анализа структуры локомотивного парка железных дорог Украины сделаны выводы о необходимости его обновления, как в электрической, так и тепловозной тяге. Установлено, что обновление тепловозного парка целесообразно проводить за счет модернизации существующих серий с продлением срока их службы. В большей степени это касается магистральных тепловозов серии М62 и маневровых серии ЧМЭЗ.

Анализ существующей концепции проведения приемочных испытаний показал нецелесообразность ее применения в современных условиях из-за высокой их стоимости. При этом данная концепция, применяемая еще для первых поколений локомотивов, не учитывает возможности современных вычислительных средств, которые позволяют некоторые дорогостоящие виды испытаний заменять адекватным моделированием.

На основе предложенной систематизации различных видов приемочных испытаний разработана новая концепция, положения которой позволяют сократить количество дорогостоящих натуральных испытаний за счет разработанных моделей и при этом повысить эффективность их проведения за счет снижения стоимости и времени.

Для реализации предложенной концепции были определены критерии приемочных испытаний модернизированных тепловозов, множества параметров, которые необходимо определить экспериментально и по расчетным моделям, разработана структурно-функциональная схема тепловоза, разработана оптимизационная модель выбора объема испытаний и получены зависимости достоверности показателей безопасности, надежности и экономичности от количества видов испытаний и выбранных параметров.

Выбор множества параметров, проверяемых во время испытаний, производился на основе предложенного подхода сравнения баз технических решений существующего и модернизированного тепловоза по критериям структурной, функциональной и технико-экономической информативности через оценки их информационных энтропий. Это позволило установить зависимость необходимого объема приемочных испытаний модернизированных тепловозов от объемов самой модернизации.

Оптимизация выбора объема испытаний проводилась с использованием метода линейного программирования, что стало возможным после определения весовых коэффициентов влияния проведения отдельного вида испытаний на соответствующие показатели безопасности, надежности и экономичности. По разработанной модели возможна оптимизация объема испытаний и выбор видов испытаний по критериям эффективности: стоимость испытаний, время проведения испытаний. Модель позволяет устанавливать ограничения как по достоверности показателей, определяемых в результате испытаний, так и по наперед заданным ресурсам финансирования и времени. Это позволит проводить уточнения при сравнении стоимости жизненного цикла для различных модернизаций в части расходов на приемочные испытания.

Использование предложенной концепции и метода определения объемов приемочных испытаний модернизированных тепловозов позволяет сократить затраты на испытания на 31,6 % и время проведения испытаний до 3 месяцев. При

этом достоверность определяемых показателей обеспечивается на нормативном уровне.

Разработанная модель определения основных технико-экономических показателей модернизированных тепловозов с использованием результатов испытаний основывается на применении математических зависимостей и численных методах их решения. Уточненные методы тягово-энергетических расчетов проверены на адекватность моделирования показателей движения поезда с модернизированными тепловозами. Также их возможно использовать при оптимизации режимов движения поезда по критерию энергоэффективности. Так, для участка Ковель-Изюв в грузовом движении с модернизированным тепловозом М62 удалось установить резерв по сокращению расхода топлива на 37 % на одну поездку. При этом во время испытаний была достигнута экономия в 20 % соответственно.

*Ключевые слова:* обновление парка локомотивов, модернизация тепловозов, приемочные испытания, оптимизация объема, математическое моделирование, тяга поездов, режимы движения.

### ABSTRACT

Ivanchenko D.A. Improvement of the Methods for Determination of the Acceptance Tests Volume for Modernized Locomotives. - Manuscript.

Thesis for the scientific degree of Candidate of Technical Science by specialty 05.22.07 – a rolling stock of railways and hauling operations. - Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan The Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipropetrovsk, 2016.

The thesis are devoted to solution of scientific and technical problems of efficiency locomotives acceptance testing by means of improved methods for selecting the volume of tests application.

At traction rolling stock updating through modernization the question of acceptance for real values of the main technical and economic indicators and the decision to adopt the production and / or exploitation of the railways is valid.

For realization of acceptance tests for modernized locomotives it is necessary to determine their volume, optimized by criteria of test results reliability and the cost of their realization. Given new improved method of is based on optimization of intention choice for acceptance tests for modernized locomotives by criteria such as cost of their realization and time spending to test conduction.

A new approach to calculation of acceptance tests modernized locomotives is given. It is based on extensive application of experimental models of settlement and determination of the main parameters that characterize the work of locomotives.

By means of proposed new models results of investigation was obtained. They were applied to determination of performance characteristics of modernized locomotives.

*Keywords:* locomotive fleet renewal, modernization of locomotives, testing, optimization, mathematical modeling, hauling operations, traffic condition.

ІВАНЧЕНКО ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ

УДК 629.4.018:629.4.014.24

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ ПРИЙМАЛЬНИХ  
ВИПРОБУВАНЬ МОДЕРНІЗОВАНИХ ТЕПЛОВОЗІВ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

---

Підписано до друку "27" грудня 2016 р.  
Формат паперу 60x84 1/16 Папір офсетний  
Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 150 прим. Замовлення №551.

---

Видавець та виготовлювач: Український державний університет залізничного транспорту  
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.