

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

На правах рукопису

Іванченко Дмитро Анатолійович

УДК 629.4.018; 629.018

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ ПРИЙМАЛЬНИХ
ВИПРОБУВАНЬ МОДЕРНІЗОВАНИХ ТЕПЛОВОЗІВ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Дисертація на здобуття наукового ступеню
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Фалендиш Анатолій Петрович
доктор технічних наук, професор

Харків – 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ВИПРОБУВАНЬ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ	13
1.1 Структура локомотивного парку залізниць України та перспективи його розвитку	13
1.2 Аналіз нормативних вимог до проведення приймальних випробувань тягового рухомого складу	16
1.3 Аналіз підходів до проведення приймальних випробувань ТРС	22
1.4 Висновки до розділу 1	38
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ПРОВЕДЕННЯ ПРИЙМАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ТЕПЛОВОЗІВ	39
2.1 Концепція визначення обсягів приймальних випробувань модернізованих тепловозів	39
2.2 Систематизація параметрів тепловозів та видів випробувань, на яких вони визначаються	48
2.3 Формалізоване описання структурно-функціональної будови тепловозів	72
2.4 Висновки за розділом 2	72
РОЗДІЛ 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ ПРИЙМАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ МОДЕРНІЗОВАНИХ ТЕПЛОВОЗІВ	82
3.1 Визначення обсягу модернізації тепловоза М62 та оцінка впливу змін, внесених під час модернізації, на техніко-економічні показники тепловоза	82
3.2 Оптимізація обсягу приймальних випробувань модернізованого тепловоза	87
3.3 Проведення порівняльних експлуатаційних випробувань серійного тепловозу М62 і модернізованого М62М	93

3.4 Висновки по розділу 3	99
РОЗДІЛ 4. ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНИХ ТЕПЛОВОЗІВ З УРАХУВАННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРИЙМАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ	101
4.1 Моделювання робочих параметрів модернізованих тепловозів М62 як об'єктів випробувань	101
4.2 Розрахунок показників руху поїзда з дослідним тепловозом М62	110
4.3 Оцінка економічної ефективності використання удосконалених методів та моделей проведення приймальних випробувань	119
4.4 Висновки по розділу 4	123
ВИСНОВКИ	124
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	127
ДОДАТОК А Список параметрів тепловозів	142
ДОДАТОК Б Перелік приймальних випробувань тепловозів	150
ДОДАТОК В Програма-методика проведення експлуатаційних випробувань на надійність	156
ДОДАТОК Д Програма розрахунку показників руху поїзда з дослідним тепловозом	164
ДОДАТОК Е Акти впровадження	173

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БТР	– база технічних рішень
ВНДІЗТ	– Всесоюзний (з 1991 р. Всеросійський) науково-дослідний інститут залізничного транспорту
ДВЗ	– двигун внутрішнього згорання
ДНУЗТ	– Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
ЕДГ	– електродинамічне гальмо
ККД	– коефіцієнт корисної дії
КМБ	– колісно-моторний блок
КП	– колісні пари
НД	– нормативний документ
СБО	– система багатьох одиниць
ТВ	– технічні вимоги
ТГ	– тяговий генератор
ТЕД	– тяговий електродвигун
ТЗ	– технічне завдання
ТРС	– тяговий рухомий склад
ТУ	– технічні умови
УкрДУЗТ (УкрДАЗТ)	– Український державний університет залізничного транспорту (Українська державна академія залізничного транспорту)
ХХ	– холостий хід

ВСТУП

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 Всеросійському науково-дослідному інституті залізничного транспорту (ВНДІЗТ). 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 залізничного рухомого складу 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:

[113] – проведено аналіз характеристик та обробку даних порівняльних випробувань регуляторів для тепловозів ЧМЕЗ; [119] - розроблені математичні алгоритми для програмних засобів аналізу результатів випробувань; [123] – проведений аналіз наукових праць направлених на вибір обсягів випробувань; [14] - розроблено методику описання структури параметрів управління енергетичної системи тепловоза; [42] - розроблений метод визначення обсягів випробувань; [122] - розроблена структурно-функціональна схема тепловоза; [120] – розроблена модель визначення робочих параметрів модернізованих тепловозів; [111] - обробка даних експлуатаційних випробувань регуляторів дизелів вантажних тепловозів; [121] - розраховані показники та характеристики надійності з використання прикладних програм; [108] – виконаний аналіз та оформлення результатів випробувань; [73] - розроблений уточнений метод визначення показників динаміки енергетичної системи тепловоза; [69] - виконане формалізоване описання задачі оптимізації обсягів випробувань тягового рухомого складу; [76] - розроблена модель вибору обсягів випробувань тягового рухомого складу; [66] - удосконалення моделей проведення випробувань тепловозів;

[117] – збір, обробка статистичних даних та розрахунок показників надійності; [118] – обробка даних експлуатаційних випробувань регуляторів дизелів вантажних тепловозів; [83] – розрахунок параметрів конкурентоспроможності тягового рухомого складу; [112] - 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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ВИПРОБУВАНЬ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ УКРАЇНИ

1.1 Структура локомотивного парку залізниць України та перспективи його розвитку

Технічна база залізничного транспорту, якість якої визначає ефективність залізничних перевезень, потребує значних обсягів продукції транспортного та важкого машинобудування. Особливо це відчувається в останній час, коли питання оновлення ТРС набуває все більшої актуальності. Причиною цьому є постійне зростання числа техніки, яка відпрацювала свій ресурс і підлягає списанню. Ситуація ускладнена тим, що більшість (до 70%) рухомого складу, що мають термін експлуатації 25-30 років, вже вичерпала свій ресурс. План по оновленню ТРС залізниць України відображений у Комплексній програмі оновлення залізничного рухомого складу України, далі Програма оновлення [78].

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми згідно з Програмою оновлення є модернізація існуючого парку з подовженням терміну служби, а іншим поступова закупівля нового ТРС як вітчизняного так і закордонного виробництва [78].

Відповідно до Програми оновлення парк тепловозів нараховує 2446 одиниць. Їх структура за родом служби та за серіями представлена на рисунках 1.1 – 1.2. З них практично 99 % - тепловози з електричною передачею потужності (рисунок 1.3).

Ці тепловози розроблювалися в 50-70 роки. Розрахункові методи застосовувалися відповідно науково-технічному рівню того періоду. Принцип побудови базується на використанні дизеля в якості локомотивної енергетичної установки потужністю від 500 к.с. до 4000 к.с. та вище. Саме

дизель забезпечує автономність тепловозів, що є основною перевагою перед електровозами, при цьому потужність дизеля визначає максимальну потужність тепловоза.

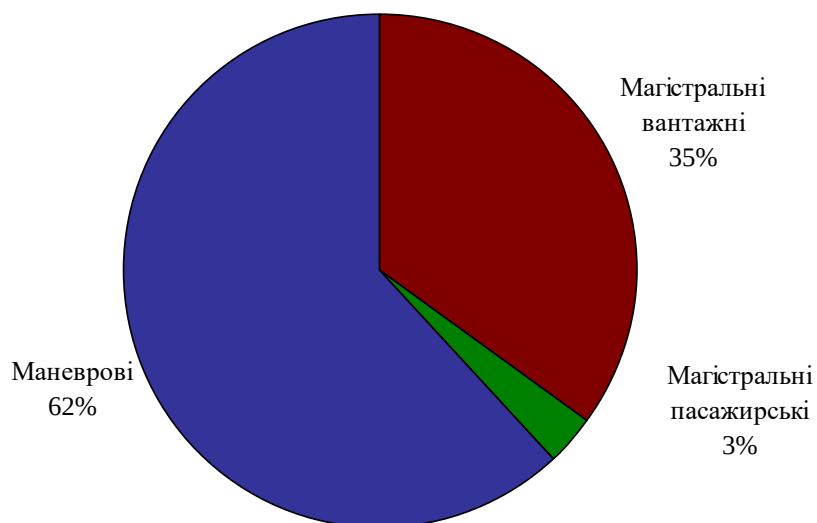


Рисунок 1.1. Структура тепловозного парку за родом служби

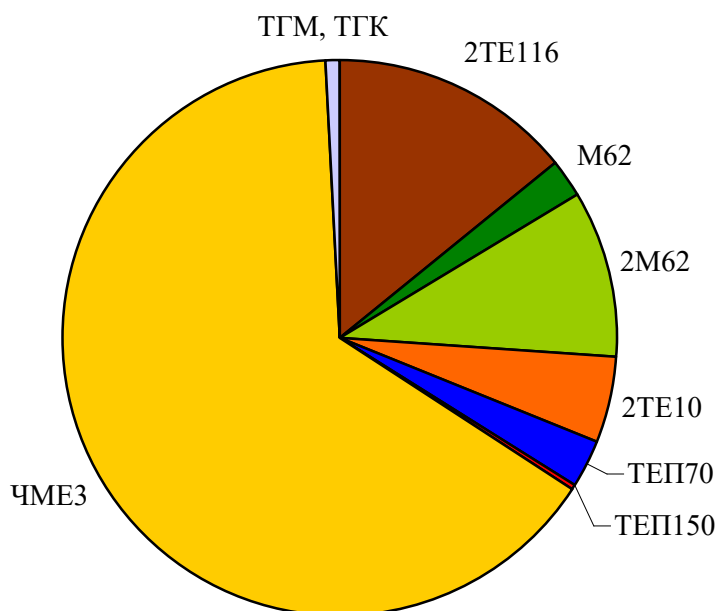


Рисунок 1.2. Структура тепловозного парку за серіями

Основні серії тепловозів, які використовуються на залізницях України, їх роки побудови та потужність по дизелю зведені в таблицю 1.1.

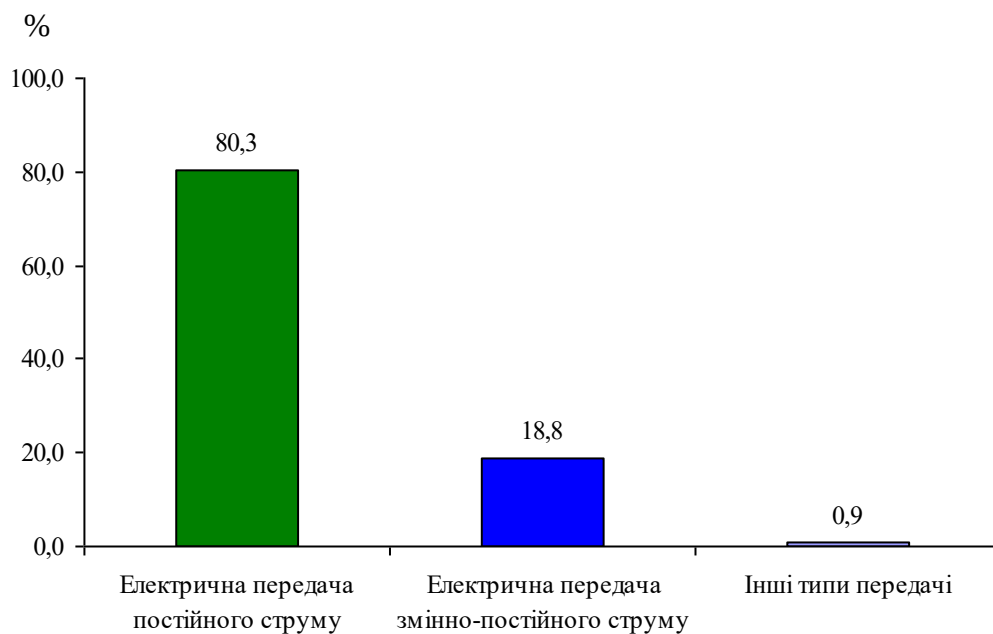


Рисунок 1.3. Структура тепловозного парку за типом передачі потужності

Таблиця 1.1 – Роки побудови та потужність основних серій експлуатованих на залізницях України тепловозів

№	Серія тепловоза	Рік побудови	Потужність по дизелю, к.с.
1	ТГМ23	1960	500
2	ЧМЕ2	1958	750
3	ЧМЕ3	1964	1350
4	М62	1965	2000
5	2ТЕ10	1963	3000
6	2ТЕ116	1971	3000
7	ТЕП70	1973	4000
8	ТЕ150	2005	4216

Основні переваги електричної передачі полягають в наступному [106, 102, 125]:

- високий ККД (від 84 до 88 %);

- отримання необхідної залежності сили тяги від швидкості руху при постійному моменті на валу дизеля;
- можливість автоматичного регулювання силою тяги в залежності від опору руху;
- можливість дистанційного управління елементами енергетичної системи тепловоза, включаючи управління локомотивами по системі багатьох одиниць (СБО);
- застосування тягового генератора в якості стартера дизеля;
- можливість широкого застосування автоматизації робочих процесів тепловоза;
- забезпечує високий коефіцієнт зчеплення коліс з рейками.

Таким чином, прогнозується застосування тепловозної тяги і в подальшому на залізницях України. Переваги тепловозів з електричною передачею робить актуальним роботи по їх теоретичному і експериментальному дослідженню під час випробувань.

1.2 Аналіз нормативних вимог до проведення приймальних випробувань ТРС

Особливо важливо, щоб продукція, яка поставляється на залізничний транспорт, а особливо ТРС, відповідала сучасним вимогам в усіх відношеннях. Ці вимоги розробляються на державному рівні з урахуванням останніх досягнень науки і техніки, а також міжнародних стандартів [99, 71].

Основні положення про порядок проведення випробувань регламентується державними та галузевими стандартами. Для вирішення питань про прийняття нового або модернізованого ТРС керуються міжнародними і державними стандартами системи розроблення та поставлення продукції на виробництво ГОСТ 15.001, ГОСТ 15.309,

ДСТУ 32.0.08.001, методичними вказівками Укрзалізниці з підготовки та проведення приймальних випробувань ТРС і його вузлів та іншими нормативними документами [39, 40, 58, 89].

Відповідно до ГОСТ 15.001 будь-який виріб знову створений або той, що пройшов модернізацію, перш ніж потрапити в експлуатацію, повинний пройти приймальні випробування [39]. При цьому обсяг і зміст випробувань, необхідних для запобігання постановки на виробництво невідпрацьованої, недостатньо надійною продукції, визначає розробник з урахуванням новизни, складності, особливостей виробництва і застосування продукції. Обсяг випробувань модернізованого локомотива залежить від кількості регламентованих (нормативних) показників, на які може вплинути зміна конструкції, що проводиться в результаті модернізації. Отже, проводити випробування в повному обсязі є недоцільним. Тому виникає завдання наукового обґрунтування вибору обсягів та видів випробувань локомотивів.

Згідно з ДСТУ 3021 та ГОСТ 16504 [42, 61] випробуванням називають експериментальне визначення кількісних та (або) якісних характеристик властивостей об'єкта випробувань як результату впливу на нього під час його функціонування, моделювання об'єкта та (або) впливу на нього.

Розкривається поняття програма випробувань як організаційно-методичного документа, обов'язкового для виконання, який встановлює об'єкт та мету випробувань, види, послідовність та обсяг здійснюваних експериментів, порядок, умови, місце і терміни виконання випробувань, забезпечення та звітність за них, а також відповідальність за забезпечення і проведення випробувань. Це роз'яснення відображає змістовні та формальні вимоги до програми, але не містить принципів її побудування, що є найбільш важливим з точки зору методології випробувань. Ці принципи походять з досвіду проведення випробувань і полягають у наступному:

- 1) Проведення значної частини випробувань на стендовому обладнанні.

- 2) Проведення випробувань при різних умовах експлуатації з використанням допустимих граничних режимів і впливів різних факторів.
- 3) Визначення точності вимірюваних параметрів.
- 4) Аналіз виявлених відмов, попередня оцінка надійності.

Необхідно визначити, що розуміти під об'єктом випробувань – ТРС чи процес його функціонування. Згідно з ГОСТ 16504 головною ознакою об'єкта випробувань є те, що по їх результатам випробувань приймається те чи інше рішення по цьому об'єкту – про можливість представлення на наступні випробування чи можливість серійного випуску та інші [42]. В залежності від виду продукції і програми випробувань об'єктом випробувань може бути одиничний виріб чи партія виробів. Таким чином в разі приймальних випробувань об'єктом є ТРС, щодо якого ставиться питання про допуск до експлуатації на залізницях та можливості виготовлення партії одиниць рухомого складу.

Нормативні документи [29, 30, 32- 35, 37, 38, 41, 43-50, 53-56, 62, 63, 95] відповідно до яких проводять приймальні випробування ТРС та наведені вимоги до нього зведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Перелік нормативних документів, що складають вимоги до проведення випробувань ТРС

№	Назва нормативного документу	Призначення нормативів
1	2	3
Нормативні вимоги до випробувань		
1.	ДСТУ 3021. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення.	Встановлення термінів та визначень понять у галузі випробувань та контролю якості продукції, які обов'язкові для використання в усіх видах нормативних документів
2.	ДСТУ 3974. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт.	Встановлені етапи виконання дослідно-конструкторських робіт (ДКР) та вимоги до технічного завдання на ДКР

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
3.	ГОСТ 16504. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.	Встановлення застосованих в науці, техніці та виробництві термінів та визначень основних понять у галузі випробувань та контролю якості продукції, які обов'язкові для використання в усіх видах нормативних документів, науково-технічній, навчальній та довідковій літературі
4.	ГОСТ 15.001. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения.	Встановлює основні положення розробки і постановки на виробництво нової або модернізованої продукції виробничо-технічного призначення
5.	ГСТУ 32.0.08.001. Порядок разработки та постановки продукции на производство для потреб железнодорожного транспорта в системе Министерства транспорта Украины.	Встановлює вимоги до порядку проведення встановлених видів випробувань відповідної продукції та експертизи місць їх проведення
Нормативні вимоги до ТРС		
6.	ГОСТ 10150. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Общие технические условия.	Встановлює основні параметри, яким повинні відповідати тепловозні дизелі
7.	ГОСТ 10448. Дизели судовые тепловозные и промышленные. Правила приемки. Методы испытаний.	Встановлює правила приймання та методи випробування серійних тепловозних дизелів
8.	ГОСТ 11729. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Воздухоочистители.	Встановлює технічні вимоги до повітроочисників тепловозних дизелів
9.	ГОСТ 11928. Системы аварийно-предупредительной сигнализации и защиты автоматизированных дизелей и газовых двигателей. Общие технические условия.	Встановлює вимоги до систем сигналізації та захисту тепловозних дизелів
10.	ГОСТ 12.1.003. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности	Встановлює класифікацію шуму, характеристики і допустимі рівні шуму на робочому місці в тепловозі

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
11.	ГОСТ 12.1.004. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.	Встановлює загальні вимоги пожежної безпеки до об'єктів захисту різного призначення на всіх стадіях життєвого циклу
12.	ГОСТ 12.1.044. Система стандартов безопасности труда. Пожароопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.	Встановлює номенклатуру показників пожежовибохонебезпечності речовин та матеріалів і методи їх визначення
13.	ГОСТ 12.2.056. Электровозы и тепловозы колеи 1520мм.	Встановлює вимоги безпеки до конструкції тепловозів
14.	ГОСТ 12.4.026. Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные и знаки безопасности.	Встановлює призначення, характеристики і порядок застосування сигнальних кольорів, а також форму, розміри, колір і порядок застосування знаків безпеки
15.	ГОСТ 14228. Дизели и той к двигатели автоматизированные. Классификация по объему автоматизации.	Встановлює класифікацію тепловозних дизелів в залежності від обсягу автоматизованих і автоматичних операцій
16.	ГОСТ 15150. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.	Встановлює макрокліматичне районування земної кулі, виконання, категорії, умови експлуатації, зберігання і транспортування виробів в частині впливу кліматичних факторів зовнішнього середовища
17.	ГОСТ 17516.1. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам.	Встановлює загальні технічні вимоги по стійкості електротехнічних виробів до впливу механічних зовнішніх факторів
18.	ГОСТ 20759. Дизели тепловозов. Техническое диагностирование и прогнозирование остаточного ресурса методом спектрального анализа масла. Общие требования.	Встановлює метод визначення дефектів в деталях тертя тепловозного дизеля, які змащуються мастилом

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
19.	ГОСТ 22339. Тепловозы маневровые и промышленные. Типы и основные параметры.	Встановлює типи маневрових та промислових тепловозів і основні класифікаційні параметри, які характеризують встановлені типи
20.	ГОСТ 22602. Тепловозы магистральные. Типы и основные параметры.	Встановлює типи магістральних тепловозів і основні класифікаційні параметри, які характеризують встановлені типи
21.	ГОСТ 22947. Покртия лакокрасочные тепловозов магистральных железных дорог колеи 1520 мм.	Встановлює технічні вимоги до лакофарбового покриття деталей, збірних одиниць і агрегатів заново побудованих тепловозів
22.	ГОСТ 24028. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерения.	Встановлює граничні допустимі значення параметрів димності відпрацьованих газів та визначає методи їх вимірювань при стендових випробуваннях дизелів
23.	ГОСТ 25463. Тепловозы магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические требования.	Встановлює загальні технічні вимоги для тепловозів з електричною передачею потужності більше 550 кВт
24.	ГОСТ 2582. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия.	Встановлює загальні технічні вимоги до тягових електричних машин тепловозів
25.	ГОСТ 31187. Тепловозы магистральные. Общие технические требования.	Встановлює загальні технічні вимоги до вантажних та пасажирських тепловозів з електричною передачею, їх систем та складових частин, крім модернізованих
26.	ГОСТ 4.352. Тепловозы. Номенклатура показателей.	Встановлює номенклатуру основних показників якості тепловозів
27.	ГОСТ 4.367. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Номенклатура показателей.	Встановлює номенклатуру основних показників якості тепловозних дизелів
28.	ГОСТ 9219. Аппараты электрические тяговые. Общие технические требования	Встановлює вимоги до електричних апаратів тепловозів

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
29.	ГОСТ 9238. Габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм.	Встановлює габарити наближення будівель та габарити рухомого складу, в тому числі проектні
30.	ГОСТ ISO 14396:2002. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Определение и метод измерения мощности двигателя. Дополнительные требования при измерении выбросов продуктов сгорания согласно ISO 8178	Встановлює вимоги до методів визначення потужності тепловозних дизелів при вимірюванні шкідливих викидів відповідно до ISO 8178
31.	ДСТУ 3868. Топливо дизельное. Технические условия.	Встановлює технічні вимоги для палива тепловозних дизелів
32.	Норми оснащення об'єктів і рухомого складу залізничного транспорту пожежною технікою та інвентарем	Регламентують порядок визначення необхідного типу і кількості пожежної техніки та інвентарю

З аналізу нормативних вимог до проведення випробувань тягового рухомого складу виявлена відсутність нормативних підходів до визначення обсягів проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів. Також значна частина нормативних документів була розроблена понад 30 років. Тому необхідно обґрунтувати нові підходи до проведення приймальних випробувань ТРС із врахуванням перспектив його розвитку.

1.3 Аналіз підходів до проведення приймальних випробувань тягового рухомого складу

Головною метою випробувань тепловозів є перевірка їх працездатності, надійності, економічності та відповідності нормам безпеки, ергономічності та екології. Для нових або модернізованих тепловозів необхідна також перевірка доцільності такої конструкції або компоновки.

Всі види випробувань умовно можна розділити на випробування ТРС в цілому і випробування окремих вузлів. Оскільки складові частини тепловоза – дизель, генератор, електродвигуни, блоки охолодження, автогальма, блоки вентиляції, управління та інше випробовуються окремо на заводах-виробниках, то істотний інтерес при випробуваннях становить їхня спільна робота, особливо в умовах, близьких до експлуатаційних.

Так при модернізації тепловоза ЧМЕЗ з новою силовою установкою Caterpillar [84] всі застосовувані вузли окремо достатньо вивчені і випробувані, але в умовах нового поєднання дизеля, електропередачі і системи управління від різних виробників головною трудностю стало налаштування їх спільної роботи. При цьому, якщо працездатність такої схеми можна налаштувати в умовах реостатних випробувань, то ефективність і раціональність режимів роботи такого тепловоза можна визначити тільки в результаті тягово-експлуатаційних випробувань. Таким чином, програма випробувань залежить від характеру нових технічних рішень, не перевірених ще в експлуатації.

Приймальні випробування є важливим етапом створення та постановки ТРС на виробництво або його модернізації. Від результатів випробувань залежить не тільки прийняття рішення про допущення нової конструкції та впровадження в експлуатацію, але й отримання необхідних даних для прогнозування її характеристик.

Історія створення ТРС свідчить про нерозривність процесів введення в експлуатацію нових типів паровозів, електровозів, тепловозів та іншого ТРС з процесом їх випробувань. Якщо, для нових конструктивних рішень випробування дозволяють отримати інформацію, яка складає основу досвіду застосування такого рішення, то для проектів модернізації ця інформація здобувається по вибраним параметрам модернізованої техніки.

Не дивлячись на високий рівень застосування сучасних програмних комплексів для розрахунку та моделювання технічних систем, визначальним у світовій практиці при постановці продукції на виробництво, оцінці її якості,

надійності і безпеки є натурні стендові, ходові і експлуатаційні випробування ТРС та його складових. Повноцінне розрахункове обґрунтування конструкції рухомого складу і повномасштабні стендові і ходові випробування дозволяють значно скоротити тривалість доводки проектів, на цій стадії оцінити показники якості, надійності та безпеки [10, 15, 16, 57, 80, 86].

Випробування дозволяють досліджувати основні характеристики локомотивів при заданих режимах роботи. При цьому визначаються паспортні тягово-енергетичні характеристики, які є вихідними для визначення маси поїзда, швидкості руху, часу слідування, витрат палива та електроенергії в експлуатації.

Аналіз публікацій [59, 81, 80, 93, 82, 96] показав, що якості заново розроблюваної техніки слід приділяти достатню увагу. Недопустимим є реалізація швидких, недопрацьованих проектів, направлених більше на отримання прибутку, ніж на вирішення економічних задач. Поряд із діючими заходами по забезпеченню якості створюваної техніки випробування займають ключове місце. Підвищення якості ТРС в результаті доопрацювання конструкції на основі результатів випробувань дозволяє підвищити ефективність роботи транспортних засобів у 1,2 – 1,3 рази і при цьому знизити експлуатаційні витрати [27]. На рисунку 1.4 показано місце випробувань в процесі створення нового ТРС.

Таким чином, ключовим етапом створення або модернізації техніки є випробування, головна мета яких полягає в оцінці якості технічного об'єкта дослідним шляхом. Під якістю ТРС розуміється сукупність таких властивостей, які визначають його придатність до застосування за призначенням по всіх встановленим вимогам.

Можливо виділити дві основні задачі приймальних випробувань. Перша задача полягає у визначенні відповідності параметрів та характеристик об'єкта випробувань вимогам нормативної документації з безпеки та якості ТРС. Саме на основі результатів вирішення цієї задачі приймається рішення про постановку нового чи модернізованого тепловоза

на виробництво. Критерієм досконалості вирішення цієї задачі є виконання усіх вимог безпеки із заданою достовірністю.

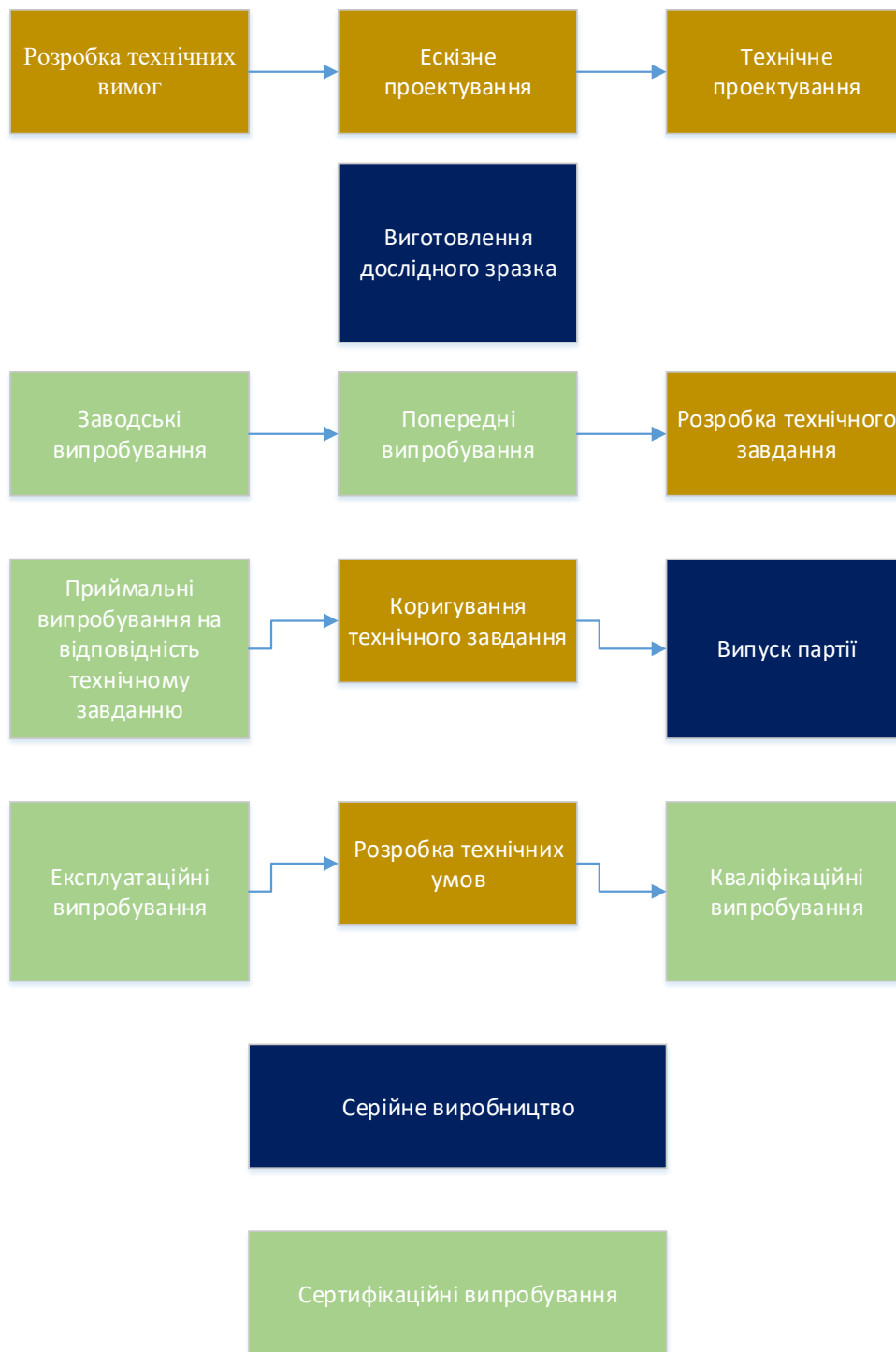


Рисунок 1.4. Етапи створення нового рухомого складу

Друга задача полягає у визначенні системи параметрів, на базі яких розраховуються показники та характеристики роботи тепловозів для заданих

умов експлуатації, визначається технічний рівень локомотива та вартість його життєвого циклу.

Для виконання цих задач необхідне розроблення програми приймальних випробувань. Від якості програми залежить як досягнення кінцевої мети випробувань, так і такі ключові характеристики як вартість випробувань, тривалість, достовірність результатів та цінність інформації, отриманої в результаті проведення усього обсягу приймальних випробувань.

Для отримання вихідних положень при розробці методів вибору обсягів приймальних випробувань необхідно вирішити наступні питання. Перше – визначення цілей та критеріїв приймальних випробувань як нових так і модернізованих тепловозів. Друге – визначення множини параметрів, які підлягатимуть експериментальному визначенню, виходячи з яких можливо формулювати програму приймальних випробувань тепловозів. Третє – розробка методів вибору обсягів випробувань, що забезпечують максимальну достовірність та мінімум витрат на їх проведення. Вирішенню цих питань присвячені наступні розділи дослідження. Далі розглянуті існуючі підходи до проведення випробувань ТРС.

Перед тим як нові види тяги були задіяні в перевезеннях вантажів та пасажирів їх властивості та характеристики детально вивчалися як теоретично так і під час випробувань. Перші відомості про роботу локомотивів, накопичуючись, у подальшому складали основу для інженерних розрахунків та наукових теорій наступних поколінь ТРС. Найбільш достовірним джерелом інформації про роботу вузлів, систем та локомотивів в цілому виступав експеримент [85]. Раціонально проведені випробування доповнювали, а також замінювали тривалі і громіздкі розрахунки. Враховуючи відповідний рівень вимірювальної техніки випробування все-таки мали перевагу у достовірності по відношенню до інженерно-розрахункових прийомів. Достатньо тривалий час випробування складали завершальний етап перевірки вже побудованих серій локомотивів перед допуском їх у експлуатацію. Ситуація змінилася при появі потужних

обчислювальних засобів із програмним забезпеченням і точної вимірювальної техніки. При достатньому обґрунтуванні деякі етапи експериментальної перевірки можуть бути замінені комп'ютерним моделюванням і розрахунками без зменшення достовірності отриманих результатів.

Із множини операцій з виробництва та впровадження в експлуатацію ТРС близько половини припадає на контрольні, які пов'язані з різними вимірами. Це, з одного боку, висуває підвищені вимоги до організації та точності вимірювань, які проводяться при випробуваннях, а з іншого, маючи значні витрати, випробування вимагають більш досконалого підходу до їх проведення [68].

В теперішній час основним принципом у плануванні будь-якої операції, у тому числі і випробувань рухомого складу, є оптимальність її проведення. Як правило, для реалізації цього принципу необхідно мати показник ефективності функціонування системи та модель. При вирішенні завдань планування проведення випробувань ТРС виникає необхідність застосування математичної моделі. У зв'язку з цим необхідно на етапі планування випробувань в першу чергу вибрати та обґрунтувати показники та критерії ефективності випробувань, а також побудувати математичну модель випробувань.

Крім того, необхідно мати математичну модель випробуваного об'єкта – тягової рухомої одиниці в цілому або її складових вузлів. При цьому важливим є вибір відповідної моделі, яка співвідноситься з метою випробувань. Модель використовується під час розроблення програми випробувань для вибору та обґрунтування видів, об'ємів, послідовності випробувань, вибору вимірюваних та контрольних параметрів.

Таким чином, для вирішення завдань розробки моделей необхідно перш за все систематизувати властивості процесу випробувань та об'єкта. Аналіз цих властивостей передбачає розробку способів оцінки результатів випробувань. Результат випробувань полягає в ступені відповідності

фактичних значень параметрів ТРС з заданими в технічному завданні (ТЗ). В умовах обмеження кількості дослідних зразків, терміну та фінансування, що виділяються на випробування не має можливості отримати достатній обсяг статистичних даних для оцінки показників роботи ТРС. У зв'язку з цим необхідно спільно застосовувати детерміновані та статистичні показники якості процесу випробувань, а також якісні та кількісні критерії оцінки їх результатів.

Відомі три методи оцінки результатів випробувань, які пропонуються в [27, 72]: диференційний, комплексний та змішаний.

Сутність диференційного методу полягає у визначенні окремих відносних показників V_i , при $0 \leq V_i \leq 1$.

Відносний показник полягає у порівнянні отриманого під час випробувань контролюючого параметра з його заданим значенням в ТЗ. Відносний показник визначається з наступного:

$$V_i = \frac{y_i(t)}{y_i^{tr}(t)}, \quad (1.1)$$

де $y_i(t)$ - значення контролюваного параметра, отриманого під час випробувань;

$y_i^{tr}(t)$ - значення контролюваного параметра згідно ТЗ;

t — час роботи об'єкта, впродовж якого проводилися вимірювання контролюваного параметра; $0 \leq t \leq T$.

Комплексний метод оцінки результатів випробувань полягає в розрахунку узагальненого показника за формулою:

$$V = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \alpha_i V_i, \quad (1.2)$$

де α_i - вагові коефіцієнти;

m – число контрольованих параметрів.

Змішаний метод оцінки результатів випробувань полягає в сумісному використанні комплексного та диференційного методів. Сутність цього методу [27] полягає в тому, що комплексний показник розраховують для визначеної групи менш значимих параметрів, а для більш значимих параметрів визначають відносні показники.

До якісних критеріїв оцінки результатів випробувань слід віднести:

- виконання у повному обсязі програми випробувань;
- наявність відповідно оформлених протоколів випробувань, затверджених у встановленому порядку;
- список заходів по усуненню виявлених зауважень та несправностей.

До кількісних критеріїв слід віднести:

- ступінь відповідності отриманих по результатам випробувань технічних характеристик заданим у ТЗ;
- кількісну оцінку результатів випробувань з використанням відносних показників V_i .

Розвиток методів комп'ютерного моделювання конструкції і робочих процесів ТРС дозволяє скоротити обсяг випробувань, що дасть суттєву економію за рахунок зменшення витратних експериментальних досліджень. Це можливо за умови підвищення достовірності та інформативності експерименту не тільки за рахунок застосування високоточної вимірювальної техніки, а й за рахунок вдосконалення методології експерименту і його планування [70].

Існуюча методологія випробувань передбачала виконання двох циклів робіт. Перший цикл полягає у випробуванні при постійних зовнішніх умовах. Місцем цих випробувань може виступати лабораторія з катковою станцією, станція реостатного випробування, ділянки з постійним профілем колії. Другий цикл - випробування в умовах експлуатації з можливими змінами в плані і по профілю колії при різних атмосферних умовах [85].

Оцінка якості, одержувана за результатами випробувань, включає технічну та економічну оцінку.

Технічна оцінка якості виражається в наступному:

- технічний рівень ТРС;
- відповідність функціональному призначенню;
- доцільність конструкції;
- надійність.

Економічна оцінка:

- вартість життєвого циклу;
- економічний ефект від модернізації.

Слід особливо виділити оцінку показників екологічності та безпеки праці. Проведення цих оцінок несе обов'язковий характер, а їхні результати повинні відповідати вимогам нормативної документації, що встановлюються державою.

В цілому програма випробувань будується від елементарних до більш складних ієрархічних рівнів. Таким чином, після експериментального відпрацювання агрегатів та систем переходять до випробування об'єкта. Агрегати та системи випробовують на спеціальних стендах, тому вони найшли назву стендових. Після завершення стендових випробувань систем, їх встановлюють на локомотив.

Повністю укомплектований локомотив підлягає попереднім (заводським) випробуванням, які в свою чергу можуть бути зараховані в якості приймальних. Приймальні випробування є завершальним етапом контрольних випробувань, по закінченню яких приймається рішення про придатність рухомої одиниці для використання за призначенням. Усі недоліки, виявлені на попередніх етапах, ліквідують і вносять відповідні зміни в конструкторську та експлуатаційну документацію.

З точки зору витрат ресурсів та часу, розглянуті етапи створення локомотивів не однакові. В [115] зазначається, якщо усі витрати, пов'язані зі створенням складної технічної системи прийняти за 100 %, то на розробку

документації витрачається 15-20 %, а на виготовлення та експериментальну доводку – 80-85% усіх витрат. Відповідно тривалість виготовлення та дослідне відпрацювання технічної системи істотно перевищують тривалість проектування, не дивлячись на те, що часткове доопрацювання документації супроводжується практично на всіх етапах виготовлення та випробування дослідних зразків [115]. Практика показує, що зі збільшенням складності створюваної технічної системи відповідно зростає доля витрат засобів та часу на дослідне відпрацювання. Це призводить до висновку про необхідність більш детального вивчення процесу випробувань для знаходження шляхів зниження витрат за рахунок оптимізації обсягів випробувань.

Аналіз робіт з проведення випробувань випробувальними організаціями. Основна частина наукових публікацій наводить результати випробувань нового і модернізованого ТРС, де вказуються конструктивні особливості створюваної техніки та виявлені при випробуваннях переваги або недоліки технічних рішень [18, 59, 81, 80, 93, 82, 96, 124].

Величезний досвід проведення всіх видів випробувань є у ВНДІЗТі. З 1932 р. кожен дослідний зразок нових локомотивів, перш ніж вступити в експлуатацію, проходив тут обов'язкову всебічну перевірку. За минулий період випробувано більше 100 різних модифікацій локомотивів, електро- і дизель-поїздів [96]. Унікальний полігон інституту дозволяє випробувати локомотиви в спеціально заданих режимах, чого важко досягти в експлуатації. На кільці ВНДІЗТу проходять випробування новітніх технічних рішень, які вперше реалізуються на транспорті. Крім приймальних випробувань ВНДІЗТ проводить низку дослідницьких випробувань, спрямованих на підвищення ефективності використання залізничного рухомого складу. Успішно вивчається взаємодія шляху і рухомого складу. Встановлено вплив підвищених навантажень з 22 до 27 тс, а тепер і до 30 тс на появу та розвиток контактно-втомлюючих дефектів у головках рейок і інш. Останнім часом ВНДІЗТ разом з російськими зразками випробовує також техніку закордонних виробників. Тут випробувалися пасажирські

вагони для потягів "Пендаліно" і "Сібеліус" (Фінляндія), модернізований тепловоз ТЭ10 для США, пасажирські вагони "Тальго" для Казахстану та інш. [59].

Частина робіт присвячена динамічним випробуванням [12, 124, 23]. Відомо, що різноманітне виконання екіпажної частини локомотивів по-різному позначається на впливі останнього на колію. Тому для встановлення рівня та особливостей силового навантаження на колію в залежності від основних параметрів екіпажної частини проводять випробування. Результати випробувань представляли собою значення наступних показників: максимальні і середні кромочні напруження в рейках, відношення кромочних напружень до осьових в рейці, відношення рамної сили до осьового навантаження, а також показників, які характеризують вертикальний і горизонтальний вплив на колію.

Екіпажні частини локомотивів, які одночасно випробувалися, відрізнялися по осьовим навантаженням, типу візків, типом підвішування тягового двигуна (ТД), типом зв'язку кузова з візком, зносу екіпажу і прокату коліс. Випробування проводилися на коліях з рейками Р50 і дерев'яними шпалами в прямій ділянці колії, в кривій радіусом 650 м при швидкості 120 км/год, в кривій радіусом 350 м при швидкості 80 км/год і в стрілочному переводі Р50 1/11 при швидкості 40 км/год.

За результатами випробувань локомотив, що має люлечний зв'язок кузова з візком, все-таки виграє по 19 показникам перед зв'язком у вигляді бічних опор з ковзунами, не дивлячись на більше на 20 кН осьове навантаження. Знос екіпажної частини і прокат коліс навпаки не виявив суттєвої різниці за впливом на колію [12].

Результати таких випробувань можуть бути використані при виборі параметрів екіпажних частин перспективних локомотивів, а також для перевірки їх відповідності нормативним документам.

Основні напрями підвищення ефективності випробувань полягає в удосконаленні, як методології випробувальних робіт, так і технічної

оснащеності випробувальної організації. Так ВНДІЗТ з метою подальшого вдосконалення випробувального центру, скорочення термінів випробувань потребує кліматичну камеру, будівництво якої скоротить терміни проведення випробувань з декількох років до декількох тижнів, комплекс нового стендового обладнання для циклічних і статичних випробувань деталей ТРС та конструкції шляху [59].

При створенні рухомого складу нового типу з'являється необхідність його всебічного випробування. Останнім часом поширюється використання рейкових автобусів для залізниць України. Особливості конструкції автобуса вимагали створення нових вимірювальних засобів та методів випробувань. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна (ДНУЗТ) виконував приймальні випробування рейкового автобуса 620М, виготовленого АТ Холдинг PESA Bydgoszcz (Польща). Для цього фахівцями університету розроблені програма та методики випробувань, до яких увійшли динамічні ходові і по впливу на колію, а також гальмівні, тягово-енергетичні і тягово-теплотехнічні випробування та ін. [18].

Також університетом, з метою визначення показників динаміки, запасу стійкості і плавності руху та тягово-енергетичних характеристик були проведені комплексні динамічні ходові та тягово-енергетичні випробування електровозу ВЛ40у, який є результатом модернізації секції електровоза ВЛ80Т, на Одеській залізниці. Для цього був сформований поїзд, що складається з дослідного електровоза ВЛ40у, допоміжного електровоза ВЛ80Т, вагона-лабораторії ДНУЗТу і тягово-енергетичної лабораторії Одеської залізниці. Вагон лабораторія використовується для вимірювань показників міцності, динаміки і гальмівних характеристик. Сила тяги локомотива вимірювалася за допомогою динамометричного автозчепу [97].

Важливе значення мають випробування вузлів ТРС. Так, для оцінки працездатності та ефективності електронних регуляторів частоти обертання і потужності дизеля проводилися порівняльні випробування кафедрою ЕРРС УкрДУЗТ [13, 109].

Компанія ПАТ "Луганськтепловоз", яка розробляла і випускала рухомий склад для залізниць, проводила також їх випробування на випробувальному центрі "Транссерв" холдингової компанії. Там проходили випробування нові серії як електро- так і дизельного ТРС [91, 60]. Побудований цією компанією причіпний вагон для дизель-поїзда проходив приймальні випробування. Для визначення оптимального виконання екіпажної частини використовувалася математична модель, яка вирішувалася методом скінченних різниць. Розрахункові дані, отримані за допомогою математичного моделювання, узгоджуються з результатами ходових випробувань. Отримані результати дозволяють встановити граничну швидкість обертання на мережі залізниць [26].

Ходові динамічні випробування дослідного причіпного вагона дизель-поїзда проводилися відповідно до програми попередніх, приймальних випробувань. Перший етап цих випробувань проводили з максимальним завантаженням у 68,2 т. Схема формування дослідного поїзда була наступною: секція А тепловоза 2ТЕ116УП - вагон-лабораторія Н 012 - причіпний вагон - вагон-лабораторія № 011 - секція Б тепловоза 2ТЕ116УП. Поїздки за прямими ділянках колії проводилися зі швидкостями 40-120 км/год з інтервалом 20 км/год, в кривій радіусом 600 м - 40, 60, 80, 100 км/год, в кривій радіусом 300 м - 30, 50, 70 км/год і по стрілочному переводу - 10, 25, 40 км/год. На кожній ділянці шляху і на кожній градації швидкості було реалізовано не менше трьох заїздів переднім і заднім ходом.

Під час випробувань реєструвалися:

- динамічні прогини пружин центральної та буксової ступені ресорного підвішування;
- горизонтально-поперечні переміщення колісних пар (КП) щодо рам візків;
- горизонтально-поперечні переміщення кузова щодо візків;
- кути повороту візків відносно кузова;
- зусилля в погашувачі коливань;

- вертикальні та горизонтально-поперечні прискорення в елементах екіпажної частини.

Навантаження на екіпажну частину у вертикальній площині визначалися величиною коефіцієнта вертикальної динаміки буксової і центральної ступені підвішування, а в горизонтальній - коефіцієнтом горизонтальної динаміки [24].

Стійкість екіпажу оцінювалася коефіцієнтом запасу стійкості колеса від сходу з рейок, який показує відношення вертикальних і горизонтальних поперечних сил, що діють на колесо в точці контакту з рейкою в момент набігання його на рейку. Ці сили можна визначити за деформаціями бічних рам візків або за допомогою динамометричної колісної пари. Як зазначено в [25] дані методи вимагають великих матеріальних витрат і не характеризуються необхідною точністю. Тому при випробуванні причіпного вагона оцінка запасу стійкості колеса від сходу з рейок проводилася за вимірами динамічних сил. Також визначалися показники плавності ходу в горизонтальному і вертикальному напрямках.

Як правило, динамічні ходові випробування проводять комплексно з випробуваннями по впливу на колію. В ході випробувань причіпного вагона визначалися наступні параметри, що характеризують вплив на колію:

- напруги підшви і головки рейок;
- відтиснення головок рейок;
- осідання підшви рейок;
- вертикальні та бокові сили, що передаються від коліс на рейки.

Розрахунковим шляхом з використанням реальних динамічних навантажень визначені:

- напруги в шпалах, баласті і на основному майданчику земляного полотна;
- стійкість основної площадки земляного полотна [26].

Для економії часу і фінансових витрат при проведенні випробувань компанія ПАТ "Луганськтепловоз" розробила стенд, який дозволяє

проводити статичні і динамічні випробування рами візка в зборі для 2-х і тривісних візків. Для задоволення вимог VIC 510-3/0 Міжнародного союзу залізниць прийнято виконати універсальний стенд, який дозволить проводити статичні, статичні з імітацією динамічних та втомні випробування рами візка [12].

Невід'ємним умовою ефективного проведення випробувань є застосування вимірювальних систем, які відповідають сучасним вимогам. Практика випробувань в період створення нових для ПАТ "Луганськтепловоз" видів продукції дозволила авторам [94] сформулювати вимоги до таких вимірювальних систем. Основний напрямок розвитку вимірювальних систем полягає в регламентуванні параметрів автоматизації, універсальності, продуктивності, надійності, точності, а також широкого застосування комп'ютерних та інформаційних технологій.

Вчені Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля (СНУ) займаються розробкою стендів для випробувань елементів ТРС. Розроблені Горбуновим М.І., Могилою В.І., Кашурой А.Л. та інш. стенди для дослідження кінематичних і силових характеристик зв'язку колісної пари з рамою візка, для визначення пружно-дисипативних зв'язків кузова з візком залізничних транспортних засобів захищені патентами. Такі технічні рішення дозволяють підвищити ефективність випробувань шляхом наближення умов навантаження до реальних умов експлуатації [105, 104].

У ході експериментів, з використання ваговимірювального пристрою була встановлена залежність вимірюваної ваги рухомого складу при проходженні по вагам з різною швидкістю. При низькій швидкості від 0 до 5 км/год величина маси вимірюється лінійно. На швидкостях від 5 до 15 км/год величина маси має малу нелінійну залежність, якою можна знехтувати. Нелінійну залежність вимірювання ваги рухомого складу на швидкостях вище 15 км/год можна замінити лінійною апроксимацією на основі отриманих експериментальних даних [23].

Аналіз робіт вчених у галузі випробування ТРС. Група вчених Міщенко К.П., Грищенко С.Г., Догадіна В.О., Гундар В.П., Басов Г.Г., Найш Н.М. та інш. займаються питаннями проведення ходових динамічних, міцнісних, а також гальмівних випробувань і працюють над їх вдосконаленням. Їхні роботи [11, 24- 27] присвячені вивченню якості нового рухомого складу, зокрема електро- та дизель-поїздів, що випускаються на «Луганськтепловозі», вивченню їх динамічних і міцнісних властивостей, розробці стендів для проведення випробувань [12]. Належної уваги заслуговують математичні моделі, за якими розраховують і оцінюють ряд необхідних параметрів ТРС, при цьому зазначені розрахунки узгоджуються з результатами натурних випробувань.

Вчені СХУ ім. В. Даля Голубенко О.Л., Горбунов М.І., Могила В.І., Кашура А.Л. також займаються дослідженням динаміко-міцнісних характеристик ТРС [28, 92]. Розроблені ними стенди спрямовані на підвищення ефективності міцнісних випробувань.

Вчені ДНУЗТ ім. В.Лазаряна Бондарєв О.М., Горобець В.Л., Пилипенко С.В., Блохін Є.П., Пшінько О.М. працюють над підвищенням ефективності проведення комплексних динамічних і по впливу на колію, а також міцнісних випробувань [17, 19]. Боднар Б.Є., Гагін Л.Ф., Гілевич О.І. приводять [18] результати приймальних випробувань рейкового автобуса, організованих у випробувальній лабораторії ДНУЗТ ім. В.Лазаряна.

Під керівництвом Тартаковського Е.Д., Бабаніна О.Б., Фалендиша А.П. в УкрДУЗТі проводять експлуатаційні випробування ТРС, а також його вузлів. Розроблено програми-методики порівняльних випробувань вузлів ТРС, а також методичне забезпечення з проведення випробувань [9, 13, 109].

1.4 Висновки до розділу 1

В результаті виконаного аналізу можна зробити наступні висновки.

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.

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 приймальним випробувань ТРС 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) Наукові праці з проведення випробувань тепловозів присвячені проведенню окремих видів випробувань для різного ТРС, при цьому питання визначення видів та обсягів для конкретних серій не розглядаються.

5) Модернізація тепловозів, що проводиться тепер і планується в подальшому потребує науково обґрунтованих рекомендацій і методів по ефективному допуску до експлуатації на основі проведених приймальних випробувань.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНЦЕПЦІЇ ПРОВЕДЕННЯ ПРИЙМАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ МОДЕРНІЗОВАНИХ ТЕПЛОВОЗІВ

2.1 Концепція визначення обсягів приймальних випробувань модернізованих тепловозів

Існуючі системи тепловозів мають множину закладених в них функцій, від якості та надійності виконання яких залежить ефективність роботи та експлуатації в цілому. Усі функції мають різну ступінь важливості і відтворюються під час робочих процесів і станів. Співвідношення значень робочих параметрів і нормативних значень у динаміці складає якість функціонування. Виконання функцій закладено технічним рішенням у відповідний вузол, пристрій, деталь, що складають дану систему. Виконаний аналіз систем нового або модернізованого ТРС, показує наявність аналогічних функцій і подібних у різній ступені технічних рішень. Слід зауважити, що технічні рішення можуть відрізнятися як конструктивним виконанням, так і якістю (технологічністю) його виробництва. Подібність технічних рішень нової розробки ТРС та існуючої дає можливість використовувати накопичену інформацію про якість виконання функцій достатньої для зменшення обсягів експериментів та зниження витрат на проведення приймальних і інших видів випробувань [64].

Аналіз структури інформації дозволив зробити подальший розвиток методів її оцінки і використання на етапах приймальних та дослідних випробувань ТРС. Місце випробувань в оперуванні інформацією впродовж життєвого циклу ТРС наведено на рисунку 2.1.

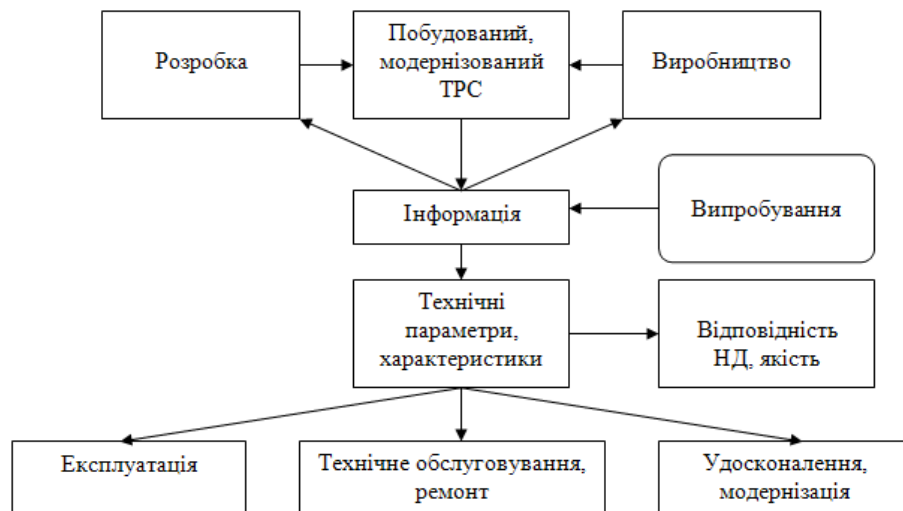


Рисунок 2.1. Місце випробовувань у оперуванні інформацією впродовж життєвого циклу ТРС

Систематизація інформації представляється у формі множини (бази) технічних рішень T^R ТРС, яка представляє собою формалізовану інформаційну модель, що динамічно взаємодіє з експлуатаційними показниками, показниками надійності, досвідом експлуатації існуючої серії ТРС з новою серією, що розроблюється, або модернізованими одиницями на етапах випробувань, постановки на виробництво, технічного обслуговування та ремонту (рисунок 2.2).

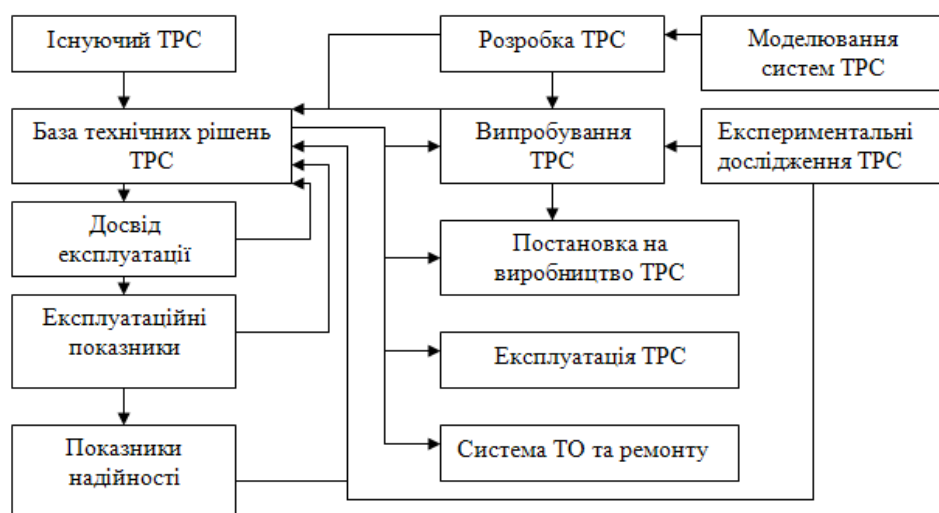


Рисунок 2.2. Схема взаємодії бази технічних рішень з основними етапами життєвого циклу ТРС

Множина T^R відіграє ключову роль у розробці технічного портрету ідеалізованого аналога та нової розробки, представленої у технічному завданні. На її основі також отримуються коефіцієнти подібності технічних рішень (рисунок 2.3).

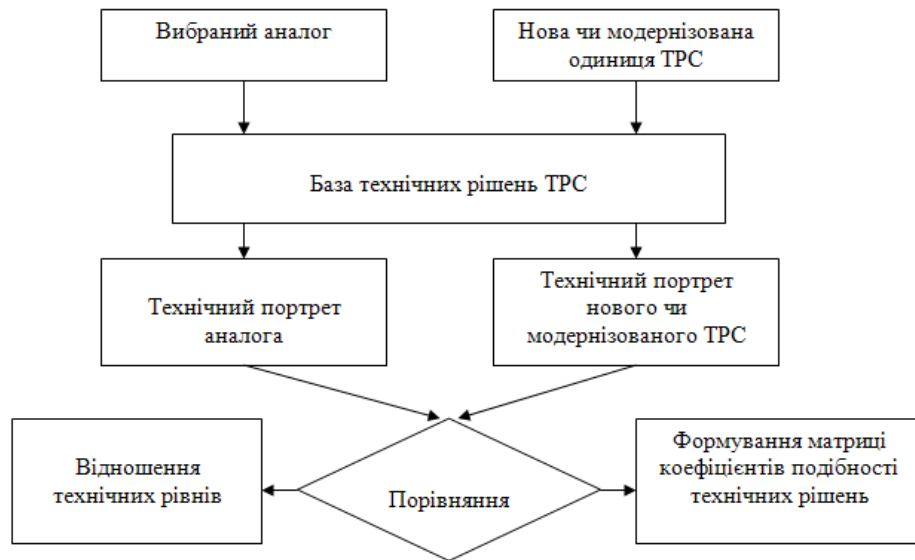


Рисунок 2.3 – Формування та використання бази технічних рішень

Важливим положенням даної моделі є широке використання досвіду експлуатації результатів випробувань, науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, що належать існуючому ТРС, який прийнятий за аналог. В основу моделі покладено взаємне використання результатів аналітичних розрахунків, моделювання, прогнозування показників ТРС та результатів випробувань. При чому останні використовуються в якості зворотного зв'язку для уточнення параметрів моделювання.

Методологія моделі базується на використанні експертних методів, методів планування експериментів, моделювання, теорії інформації та розрахунково-експериментальних [20-22, 24, 25, 27]. На основі положень цих методів виконуються прогнозування техніко-економічних показників ТРС та вибір обсягів випробувань. Інформаційні зв'язки при проведенні приймальних випробувань тепловозів наведено на рисунку 2.4.

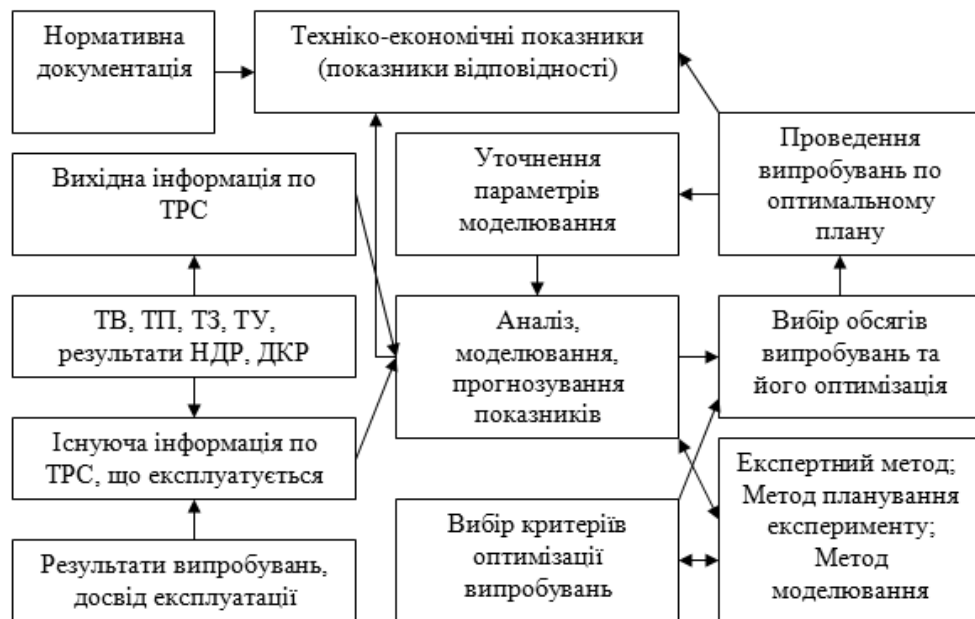


Рисунок 2.4. Інформаційні зв'язки при проведенні приймальних випробувань тепловозів

Формування БТР виконується за допомогою матриці параметрів тепловоза, які характеризують всі технічні рішення і знайшли своє відображення в конкретній конструкції. В загальному вигляді БТР тепловоза:

$$P_{ji}^T = \begin{bmatrix} P_{11}^T & P_{12}^T & \dots & P_{1i}^T \\ P_{21}^T & P_{22}^T & \dots & P_{2i}^T \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{j1}^T & P_{j2}^T & \dots & P_{ji}^T \end{bmatrix}, \quad (2.1)$$

де P_{ji}^T - відповідний параметр j - го процесу тепловоза. Зрозуміло, що під час модернізації частина цих параметрів не зміняться, а інша частина буде змінена в залежності від глибини та мети модернізації. Для більш чіткого дослідження представимо БТР по вибраним критеріям безпеки, надійності та економічності, оскільки кожен параметр тепловоза може впливати ці критерії.

Тоді для параметрів надійності:

$$\Pi_{ji}^R = \begin{bmatrix} \Pi_{11}^R & \Pi_{12}^R & \dots & \Pi_{1i}^R \\ \Pi_{21}^R & \Pi_{22}^R & \dots & \Pi_{2i}^R \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Pi_{j1}^R & \Pi_{j2}^R & \dots & \Pi_{ji}^R \end{bmatrix}, \quad (2.2)$$

де Π_{ji}^R - i - ий параметр j - го процесу, від якого залежить надійність тепловоза.

$$\Pi_{ji}^S = \begin{bmatrix} \Pi_{11}^S & \Pi_{12}^S & \dots & \Pi_{1i}^S \\ \Pi_{21}^S & \Pi_{22}^S & \dots & \Pi_{2i}^S \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Pi_{j1}^S & \Pi_{j2}^S & \dots & \Pi_{ji}^S \end{bmatrix}, \quad (2.3)$$

де Π_{ji}^S - i - ий параметр j - го процесу, від якого залежить показники безпеки тепловоза.

$$\Pi_{ji}^E = \begin{bmatrix} \Pi_{11}^E & \Pi_{12}^E & \dots & \Pi_{1i}^E \\ \Pi_{21}^E & \Pi_{22}^E & \dots & \Pi_{2i}^E \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Pi_{j1}^E & \Pi_{j2}^E & \dots & \Pi_{ji}^E \end{bmatrix}, \quad (2.4)$$

де Π_{ji}^E - i - ий параметр j - го процесу, від якого залежить показники економічності тепловоза.

Тоді коефіцієнти подібності технічних рішень модернізованого і штатного тепловозу визначаються по критерію надійності:

$$k_{ji}^R = \Pi_{ji}^R / [\Pi_{ji}^R], \quad (2.5)$$

по критерію безпеки:

$$k_{ji}^S = \Pi_{ji}^S / [\Pi_{ji}^S], \quad (2.6)$$

по критерію економічності:

$$k_{ji}^E = \Pi_{ji}^E / [\Pi_{ji}^E], \quad (2.7)$$

де $\Pi_{ji}^R, \Pi_{ji}^S, \Pi_{ji}^E$ - параметри БТР для модернізованого тепловозу;
 $[\Pi_{ji}^R], [\Pi_{ji}^S], [\Pi_{ji}^E]$ - параметри БТР для штатного тепловозу.

Так для оцінки та прогнозування таких показників надійності, як ймовірність безвідмовного виконання функцій системами нового чи модернізованого ТРС використовуються коефіцієнти порівняння БТР:

$$\|P_{ij}^n(l_{ij})\| = \|P_{ij}^a(l_{ij})\| * \|k_{ij}^p\|, \quad (2.8)$$

де P_{ij}^n - ймовірність безвідмовного виконання i -ої функції j -ою підсистемою модернізованої одиниці ТРС;

P_{ij}^a - ймовірність безвідмовного виконання i -ої функції j -ою підсистемою штатного ТРС;

l_{ij} - напруження i -ої функції j -ої підсистеми;

k_{ij}^p - коефіцієнти подібності БТР.

Існують різні варіанти модернізацій ТРС, які відрізняються глибиною і направленістю оновленого обладнання та величиною змін основних техніко-економічних показників. Оскільки вибір видів випробувань залежить від цих факторів, то виникає необхідність в критерію порівняння вихідного і модернізованого тепловозу. Таким критерієм може виступати коефіцієнт порівняння баз технічних рішень [25]

$$K_B = 1 + \frac{E_0 - E_m}{E_0} \cdot k_E + \frac{S_0 - S_m}{S_0} \cdot k_S + \frac{F_0 - F_m}{F_0} \cdot k_F, \quad (2.9)$$

де $E_0 - E_m$ - порівняння інформаційної ентропії показників ефективності технічних рішень штатного та модернізованого тепловозів;

$S_0 - S_m$ - порівняння відносної складності технічних рішень штатного та модернізованого тепловозів за структурою;

$F_0 - F_m$ - порівняння відносної складності технічних рішень штатного та модернізованого тепловозів за функціональністю;

k_i - вагові коефіцієнти впливу.

Враховуючи цей критерій будуємо модель вибору видів приймальних випробувань модернізованих тепловозів. Існує кінцеве число різноманітних випробувань U_i , $i = 1 \dots N$ тепловозів. Частина цих випробувань, в залежності від типу модернізації, проводяться обов'язково $U_0 \in U_i$. Кожен вид випробувань підтверджує значення відповідного показника тепловоза або спростовує його. Априорі, достовірність показника P_i визначається кількістю інформації

$$d\bar{P}_i = H = -k \sum_{i=1}^n \bar{p}_i \log_a \bar{p}_i, \quad (2.10)$$

де $\bar{p}_i$ - ймовірність результату $\bar{P}_i$ ($0 \leq p_i \leq 1, \sum_{i=1}^n p_i = 1$).

Проведення випробування U_i знижує H на ΔH_{ui} .

$$\Delta H_{ui} = H - H_{ui}, \quad (2.11)$$

$$\text{де } H_{ui} = -k \sum_{i=1}^n p_i \log_a p_i. \quad (2.12)$$

Тоді формалізація задачі вибору видів випробувань визначається цільовою функцією та обмеженням за достовірністю результатів випробувань:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N C_i^m \cdot u_i^m + \sum_{i=1}^N C_i^e \cdot u_i^e \rightarrow \min \\ \sum_{i=1}^N \Delta H_{mi} \cdot u_i^m + \sum_{i=1}^N \Delta H_{ei} \cdot u_i^e \geq \frac{H(P_i(\alpha_i))}{K_B} \\ P_i(\alpha_i) = P_i(|X_j - \bar{x}_j| \leq \varepsilon_j) \\ u_i = 0; u_i = 1 \end{cases} \quad (2.13)$$

де $(\Delta H_{mi}, \Delta H_{ei}) \in \Delta H_{ui}$ - зміна інформаційної ентропії показника в результаті проведення моделювання або експерименту;

C_i^m, C_i^e - відповідно витрати на моделювання або експеримент;

u_i^m, u_i^e - відповідно види моделей або експериментів;

$P_i(\alpha_i), \varepsilon_j$ - довірна ймовірність та рівень значимості результатів випробувань.

Приймальні випробування зразків або партій модернізованої продукції повинні бути проведені в обсязі, який дозволяє визначити вплив змін на властивості вихідної продукції. За вимогою замовника під час модернізації приймальні випробування можуть бути проведені як порівняльні випробування зразків вихідної та модернізованої продукції. Якщо зміни, що були внесені, однозначно оцінюються експертним або розрахунковим шляхом та підтверджуються результатами попередніх випробувань, її приймальні випробування допускається не проводити [58].

З урахуванням цих розробок була розроблена нова концепція проведення та визначення обсягу приймальних випробувань модернізованих тепловозів. Вона складається з наступних етапів:

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 в якості приймальних.

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 тепловозу.

6) Аналіз та висновки по результатам приймальних випробувань модернізованих тепловозів.

2.2 Систематизація параметрів тепловозів та видів випробувань, на яких вони визначаються

Для визначення номенклатури показників тепловозів з метою проведення їх всебічних випробувань можливо застосування ГОСТ 4.352 [52].

Недоліком цього підходу є неможливість визначення номенклатури показників для модернізованого тепловозу оскільки дані показники не структуровані за підсистемами тепловоза та не описують процеси до яких вони відносяться. Це ускладнює встановлення впливу змін, внесених під час модернізації на техніко-економічні показники модернізованих тепловозів. Тому необхідно проаналізувати основні процеси, які протікають в підсистемах тепловоза, визначити показники, які їх характеризують та оцінити вплив змін на ці показники в залежності від глибини модернізації.

Згідно з проведеним аналізом, метою приймальних випробувань є встановлення працездатності, надійності, економічності та відповідності нормативним вимогам з безпеки. Для визначення цих властивостей необхідно встановити параметри, які характеризують ці властивості та види випробувань, на яких проводять дослідження цих параметрів.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати аналіз робочих процесів, які відбуваються в тепловозі для всіх допустимих режимів експлуатації. Після узагальнення даних процесів виділити структурні елементи, підсистеми тепловоза, в яких протікають процеси, та визначити функції структурних елементів, відповідно до процесів. Далі визначаються параметри, що характеризують відповідні функції та показники, по яким можливо оцінити якість виконання функцій. Розглянуті процеси можливо характеризувати за допомогою показників якості тепловоза та спеціальними параметрами, від яких залежать ці показники. Останнім етапом є визначення видів випробувань на яких перевіряють вибрані показники.

Всі процеси розглядаються по основним складовим тепловоза, а саме: екіпажна частина, силове енергетичне обладнання, передача потужності, авто гальмівне та допоміжне обладнання, враховуючі систему управління, контролю та захисту [77].

У екіпажній частині відбуваються такі основні процеси, як рух елементів екіпажної частини, що характеризується динамікою екіпажу, та зміна напружено-деформованого стану конструкції, що характеризується міцністю конструкції екіпажу.

Динаміка тепловоза включає переміщення, швидкість та прискорення елементів екіпажної частини тепловоза в діапазоні допустимих швидкостей руху локомотива згідно з ТЗ як в прямих, так і в криволінійних ділянках колії. Структурними елементами, від яких залежить динаміка тепловоза складають в першу чергу підресорені та не підресорені маси, їх розподілення (розважування) та елементи ресорного підвішування.

Основні функції покладені на структурні елементи – це пружний та дисипативний зв'язок елементів із забезпеченням необхідних робочих переміщень. Параметри від яких залежать властивості екіпажу стосуються геометрії та мас елементів екіпажної частини, жорсткості і дисипативних якостей ресорного підвішування і правильності розподілення навантаження від маси тепловоза по вісям колісних пар.

Процеси, які протікають в екіпажній частині тепловоза характеризуються показниками динамічних якостей [90]:

- віброзахисту, що визначає ступінь захисту обладнання тепловоза від вібрацій, що виникають під час руху;
- безпеки та плавності руху.

На ці показники впливають такі параметри як повна маса m_T , зчіпна вага $P_{зч}$, службова маса $m_{сл}$ та габарит тепловоза, коефіцієнт використання зчіпної ваги η_g .

Для оцінки показників віброзахисту використовуються такі параметри:

- максимальні прискорення кузова, $q''_{\max}$, м/с²;
- максимальні переміщення кінців кузова, $q_{\max}$, м;
- коефіцієнти вертикальної, k_o^e і горизонтальної динаміки, k_o^e ;
- коефіцієнти запасу конструктивного прогину пружин, $k_{\kappa\pi}$.

Тоді умови відповідності показників віброзахисту нормативним значенням для допуску тепловозів до експлуатації:

$$q''_{\max} \leq [q''], q_{\max} \leq [q], k_{o\max} \leq [k_o], k_{\kappa\pi\max} \leq [k_{\kappa\pi}], \quad (2.14)$$

де $[q'']$, $[q]$, $[k_o]$, $[k_{\kappa\pi}]$ - відповідно нормативні допустимі значення максимальних прискорень, переміщень кінців кузова, коефіцієнтів вертикальної і горизонтальної динаміки та запасу конструктивного прогину пружин.

Коефіцієнт вертикальної динаміки для пасажирських тепловозів $k_o \leq 0,35$, для вантажних тепловозів $k_o \leq 0,4$.

Для оцінки показників безпеки руху використовуються параметри:

- коефіцієнт запасу стійкості колеса проти сходу з рейок, k_{ck} ;
- стійкість колії проти зсуву в плані, яка характеризується рамною Y_p і бічною Y_o силами, кН;
- стійкість колії по ширині, яка характеризується бічним тиском рейки на шпалу, $Y_{ш}$, кН;
- поперечна стійкість екіпажу від перекидання в кривих, яка характеризується величинами вертикальних розвантажень коліс від дії відцентрових Π_{ψ} та вітрових Π_{ϕ} навантажень, кН;
- міцність рейок і елементів ходових частин, яка характеризується напругами σ у відповідних елементах екіпажної частини, МПа.

Умови відповідності показників безпеки нормативним значенням для допуску тепловозів до експлуатації:

$$k_{c\kappa} \geq [k_{c\kappa}], Y_p \leq [Y_{p.m}], Y_{\bar{o}} \leq [Y_{\bar{o}.m}], Y_{\text{ш}} \leq [Y_{\text{ш}}], \Pi / (\Pi_{\text{ц}} + \Pi_{\text{с}}) > 1, \quad (2.15)$$

де $[k_{c\kappa}]$, $[Y_{p.m}]$, $[Y_{\bar{o}.m}]$, $[Y_{\text{ш}}]$ - відповідно нормативні допустимі значення коефіцієнту запасу стійкості колеса проти сходу з рейок, мінімального значення рамних і бічних сил, бічного тиску.

Рамні сили визначають виходячи з умови:

$$Y_p \leq k_b \cdot P_0, \quad (2.16)$$

де Y_p - рамні сили, кН;

k_b - коефіцієнт баласту. Для скалинного баласту $k_b = 0,4$; для піщаного та нарінькового $k_b = 0,3$;

P_0 - статичне осьове навантаження від колісної пари на рейки. Для вантажного тепловоза $P_0 \leq 245$ кН, для пасажирського $P_0 \leq 221$ кН [51].

Напруження в зовнішній і внутрішній кромках підшви рейок $\sigma_p \leq 240$ МПа. Напруження в зовнішній кромці вістряків у нормованих перетинах $\sigma_{ep} \leq 275$ МПа.

Відношення максимального горизонтального навантаження до середнього вертикального навантаження рейки на шпалу:

$$\alpha = \frac{H_p^{\max}}{P_p^{\text{сеп}}}, \quad (2.17)$$

де $H_p^{\max}$ - максимальне горизонтальне навантаження, кН;

$P_p^{\text{сеп}}$ - середнє вертикальне навантаження рейки на шпалу, кН.

Для скалинного та азбестового баласту $\alpha \leq 1,4$, для піщаного та нарінькового баласту $\alpha \leq 1,1$.

Для оцінки плавності руху використовуються параметри:

- у перехідних режимах руху третя похідна від переміщень елементів ходової частини, $\frac{d^3q}{dt^3}$;
- у режимі квазістійкості максимально допустимою швидкістю руху $V_{\max}$ за формулою (2.4).

Умови відповідності показників плавності ходу нормативним значенням для допуску тепловозів до експлуатації:

$$\frac{d^3q}{dt^3} \leq \left[\frac{d^3q}{dt^3} \right], \quad (2.18)$$

$$V_{\max} = 3,6 \sqrt{R[a_n] + gh / (2s_p)}, \quad (2.19)$$

де $\left[\frac{d^3q}{dt^3} \right]$ - допустиме значення величини третьої похідної від переміщень елементів ходової частини, м/с³;

R - радіус кривої, м;

$[a_n]$ - допустима величина непогашеного прискорення, м/с²;

h - підвищення зовнішньої рейкової нитки в кривій, мм;

$2s_p$ - відстань між кругами кочення колісної пари, мм;

g - прискорення вільного падіння, м/с².

Далі розглянемо види випробувань, на яких перевіряються проаналізовані вище показники.

Умови експлуатації нового або модернізованого рухомого складу встановлюються на підставі результатів комплексних ходових динамічних випробувань. У процесі проведення таких випробувань одночасно реєструються як процеси динаміки екіпажу, так і напружений стан елементів конструкції колії, обумовлене силовим впливом даного ТРС [101]. Виходячи

з цього встановлюють обмеження швидкості на ділянці, по якій обертається ТРС.

При ходових динамічних випробуваннях оцінюють динамічні якості тепловоза за такими показниками:

- коефіцієнт відносного демпфування, $k_{\delta 0}$;
- приведений статичний прогин, $\Delta_{стпр}$;
- динамічний прогин буксового ступеню, $\Delta_{\delta пр}$;
- коефіцієнт вертикальної динаміки для першого і другого ступенів підвішування, $k_{\delta 1}^e, k_{\delta 2}^e$;
- амплітуда і частота виляння колісних пар, $A_{Вкп}, f_{Вкп}$;
- максимальні рамні сили на прямих, кривих ділянках колії і на стрілочних переводах, $Y_{р max}$;
- коефіцієнт горизонтальної динаміки, k_{δ}^e ;
- вертикальні і горизонтальні прискорення букс, візків, кузова, $q_{\delta}''', q_{\delta}''', q_{\kappa}''$;
- коефіцієнт конструктивного запасу для 1-ого і 2-ого ступенів підвішування, $k_{\kappa 1}, k_{\kappa 2}$;
- опір в погашувачі коливань, $R_{\epsilon \kappa}$;
- коефіцієнт запасу стійкості проти сходу колеса з рейок, $k_{\epsilon \kappa}$;
- плавність ходу у вертикальній і горизонтальній площині, $\frac{d^3 q}{dt^3}$;
- перша власна частота згинальних коливань кузова у вертикальній площині, f_{ϵ} ;
- запас на відносні переміщення елементів екіпажу, $q_{зан}$.

При випробуваннях на зіткнення визначають значення напруги в несучих елементах конструкції екіпажу.

При скиданні локомотива з клинів визначають власні частоти коливань екіпажа на ресорного підвішування при імітації різних форм коливань:

підстрибування, галопування і бічні коливання і коефіцієнти відносного демпфування відповідних форм коливань.

Випробування з перевірки проходження ділянок колії з мінімальними радіусами. Метою випробувань є перевірка забезпечення можливості переміщення деталей екіпажної частини при проходженні криволінійних у плані ділянок шляху без їх пошкодження.

Випробування по перевірці габаритних параметрів. Під час випробувань встановлюють граничний поперечний перпендикулярний до осі колії обрис, в якому, не виходячи назовні, повинен розміщуватися на прямій горизонтальній ділянці колії залізничний рухомий склад. Під час проведення цих випробувань необхідно враховувати особливості визначення габариту рухомого складу зарубіжного виробництва [79, 103].

Випробування по визначенню маси m_T , т та розважування Δm_i . Поколісне зважування тепловоза з метою визначення розважування. Під час випробувань визначається:

- відхилення фактичного значення маси тепловоза від проектної, яке не повинне перевищувати 3 %;
- різниця навантажень по колесам колісної пари, не більше 4 %;
- різниця навантажень по осям в одному візку, не більше 3 %;
- різниця навантажень по сторонам тепловоза, не більше 3 %;
- різниця навантажень по візкам, не більше 2 %.

Процеси зміни НДС елементів екіпажної частини від дії статичних, квазістатичних і динамічних сил. Пов'язані з НДС елементів конструкції екіпажної частини процеси можна розділити на такі:

- сприйняття ваги обладнання та її рівномірне розподілення по осям тепловоза;
- сприйняття повздовжніх зусиль від сил тяги та гальмування та поперечних зусиль від динамічних впливів при русі екіпажу по рейковій колії.

Структурними елементами тепловоза, які приймають участь у процесі є несні частини екіпажу та тягово-зчепні засоби, а саме головна рама, кузов (при несному кузові), рами візків, автозчепа, букси, шворні і КП. Основна функція, яка повинна виконуватись цими елементами є підтримання міцності і стійкості при регламентованих (визначених у ТЗ) експлуатаційних і ремонтних навантаженнях. Параметри, що характеризують функції конкретних структурних елементів визначаються мірою навантаження і відповідальності і визначаються встановленими у ТЗ значеннями меж міцності і плинності. Основними показниками процесів, що розглядаються є напруження в різних частинах елементів екіпажної частини від дії статичних, квазістатичних і динамічних навантажень.

Динаміко-міцнісні випробування. Під час випробувань оцінюють напружено-деформований стан несних елементів екіпажної частини і запасів міцності. Мета випробувань - оцінити міцність екіпажної частини. Міцнісні якості локомотива оцінюють за коефіцієнтами запасу опору втоми в несучих конструкціях екіпажу, в тому числі елементах тягового приводу [107].

Дані випробування включають визначення несної здатності кузова і його елементів по допустимим напруженням для нормованих режимів навантаження:

- напруження при навантаженні у вертикальному напрямі від власної ваги рами, кузова та силового обладнання, σ_e , МПа;
- напруження при навантаженні в поздовжньому напрямі від дії стискальних та розтягальних зусиль, прикладених до вісі автозчепа, σ_n , МПа;
- напруження при навантаженні від сил, які прикладаються до рами при піднятті її на домкратах під час ремонту, $\sigma_{p\partial}$, МПа;
- напруження при навантаженні шворневого вузла від інерційних сил, σ_i , МПа;
- квазістатичного напруження від сил тяги та гальмування, $\sigma_{к\tau\gamma}$, МПа;

- квазістатичного напруження від сил в кривих, $\sigma_{\kappa\kappa}$, МПа;
- динамічного напруження при різних швидкостях тепловоза до конструкційної, σ_d , МПа;
- динамічного напруження при проїзді стрілок та шпальних вставок, $\sigma_{дстр}$, МПа;
- напруження при співударі, σ_y , МПа;
- динамічного напруження тягового приводу та його елементів, $\sigma_{тпр}$, МПа;
- коефіцієнтів запасу опору втоми несних конструкцій екіпажної частини, k_3 .

Процеси, які протікають у силовому енергетичному обладнанні (дизель-генераторі) і передачі потужності розглянемо як єдиний процес перетворення внутрішньої хімічної енергії палива у механічну енергію руху тепловоза. Структурні елементи, в яких відбувається даний процес складають дизель, тяговий генератор (ТГ), КМБ. Основні функції, які виконують дані елементи це перетворення одного виду енергії в інший та передача енергії від силової енергетичної установки до КП.

Кожен структурний елемент характеризується відповідною множиною параметрів. Поділимо їх на конструктивні та функціональні. До конструктивних параметрів дизеля відносять:

$$P_K^D = \{D_u, l, V_p, \varepsilon\}, \quad (2.20)$$

де D_u - діаметр циліндра, см;

l - хід поршню, см;

V_p - робочий об'єм циліндру, л;

ε - ступінь стиснення.

До функціональних:

$$P_{\phi}^D = \{[\Delta T_{\phi}], [T_{\max}^{\phi}], p_{\max}, [\Delta p_{\phi}], p_{ce}, p_{cm}, v_n, T_{\min}^{zan}, n_{kv}, M_e\}, \quad (2.21)$$

де $[\Delta T_{\phi}]$ - допустима різниця температури відпрацьованих газів між циліндрами, °C;

$[T_{\max}^{\phi}]$ - максимальна температура випускних газів, К;

$p_{\max}$ - максимальний тиск згоряння, МПа;

$[\Delta p_{\phi}]$ - нерівномірність максимального тиску згоряння по циліндрам, МПа;

p_{ce} - середньоефективний тиск на поршень, МПа;

p_{cm} - тиск стиснення, МПа;

v_n - середня швидкість поршня, м/с;

$T_{\min}^{zan}$ - мінімальна температура запуску дизеля; °C;

n_{kv} - номінальна частота обертання колінчастого валу, об/хв.

M_e - ефективний крутний момент дизеля, Нм.

Конструктивні параметри передачі потужності:

$$P_K^{III} = \{C^{TG}, C^{TED}, m^{TG}, m^{TED}\}, \quad (2.22)$$

де C^{TG} - конструкційна постійна ТГ;

C^{TED} - конструкційна постійна ТЕД;

m^{TG} - маса ТГ, кг;

m^{TED} - маса ТЕД, кг.

Функціональні параметри передачі потужності:

$$P_{\Phi}^{III} = \left\{ \begin{array}{l} M^{TED}, \Phi^{TED}, R_o^{TED}, \lambda^{TED}, U^{TED}, I^{TED}, n^{TED} \\ M^{TG}, \Phi^{TG}, R_o^{TG}, U^{TG}, I^{TG}, n^{TG}, \mu_{3II}, \eta_{3II} \end{array} \right\}, \quad (2.23)$$

де M^{TED}, M^{TG} - крутні моменти відповідно ТЕД і ТГ, Нм;
 Φ^{TED}, Φ^{TG} - магнітні потоки відповідно ТЕД і ТГ, Вб;
 R_o^{TED}, R_o^{TG} - опори обмоток відповідно ТЕД і ТГ, Ом;
 λ^{TED} - ступінь ослаблення поля ТЕД, %;
 U^{TED}, U^{TG} - напруги відповідно ТЕД і ТГ, В;
 I^{TED}, I^{TG} - сили струму відповідно ТЕД і ТГ, А;
 n^{TED}, n^{TG} - частоти обертання відповідно ТЕД і ТГ, об/хв;
 μ_{3II} - передаточне відношення тягової зубчатої передачі;
 η_{3II} - ККД тягової зубчатої передачі.

Далі визначимо показники процесів, що розглядаються. Працездатність, економічна ефективність і надійність тепловоза в цілому значною мірою визначається процесом перетворення внутрішньої енергії палива в механічну енергію руху колісних пар, що характеризується залежністю між силою тяги та швидкістю тепловоза, на якій ця сила тяги може бути реалізована. Тому основним показником даного процесу виступає сила тяги тепловоза для різних допустимих швидкостей руху.

Сила тяги, як відомо, обмежена такими чинниками:

а) величиною зчеплення між колесом і рейкою Ψ_{κ} ;

б) потужністю дизеля N_e , кВт;

в) потужністю генератора P^{TG} , кВт та величиною нагрівання електричних машин.

Найменша з цих сила тяги і потужність обмежують потужність тепловоза в цілому. Тому дуже важливо при випробуваннях встановити можливий максимум для сили тяги по кожному з вищевказаних ознак [85].

Перше обмеження виражається загальновідомою формулою:

$$F_K \leq \Psi_{\kappa} \eta_{\epsilon} P_{зч}, \quad (2.24)$$

$$\eta_{\epsilon} = (2\Pi - \Delta\Pi) / (2\Pi), \quad (2.25)$$

де Ψ_{κ} - розрахунковий коефіцієнт зчеплення;

η_{ϵ} - коефіцієнт використання зчіпної ваги;

$P_{зч}$ - зчіпна вага тепловоза, кН;

2Π - навантаження на вісь, кН;

$\Delta\Pi$ - величина різниці навантажень, кН.

Так як значення коефіцієнта зчеплення залежить від великої кількості випадкових факторів, його визначають експериментально при випробуваннях. Випробування проводять при різних умовах. Машиніст при вибраних швидкостях руху збільшує силу тяги локомотива до зриву зчеплення. Досягнуту силу тяги ділять на вагу локомотива і знаходять коефіцієнт зчеплення. Отримані дослідні дані обробляють методами математичної статистики і визначають значення розрахункового коефіцієнта зчеплення Ψ_{κ} .

Друге обмеження визначається за наступною формулою:

$$F_K = \frac{D_{\text{ц}}^2 \cdot l \cdot z}{10,61 \cdot \tau} \cdot p_i \cdot \frac{n_{\text{кв}}}{V} \cdot \eta, \quad (2.26)$$

де $D_{\text{ц}}$ - діаметр циліндра, см;

l - хід поршня, см;

τ, z - тактність і кількість циліндрів дизеля;

p_i - індикаторний тиск, МПа;

$n_{\text{кв}}, V$ - частота обертання колінвала дизеля, об/хв та швидкість тепловоза, км/год;

$\eta = \frac{\eta_m}{\eta_i}$ - відношення ККД тепловоза до індикаторного ККД дизеля.

З цієї формули видно, що сила тяги тепловоза обмежується дизелем, а саме його розмірами і середньо індикаторним тиском, який у свою чергу залежить від максимальної циклової подачі палива. Крім того, гранична сила тяги залежить від відношення $i = \frac{n_{kg}}{V}$ та η , який також залежить від швидкості.

У такому випадку для визначення обмеження сили тяги по дизелю необхідно знайти залежність:

$$F_K = f(V), \quad (2.27)$$

Третє обмеження залежить від параметрів генератора та електродвигуна, а саме максимальних дозволених значень напруги U та сили струму генератора I . Окрім граничних значень I , для електричних машин є обмеження по нагріванню, що залежать від атмосферних умов і профілю колії. При великих швидкостях і малих струмах настає обмеження по збудженню.

Економічність тепловозу можливо виразити через ККД. Він дорівнює:

$$\eta = \frac{N_K}{N_i}, \quad (2.28)$$

де N_i, N_K - відповідно індикаторна і дотична потужності тепловоза, кВт.

Вищесказане визначає програму приймальних випробувань з метою встановлення працездатності та економічності. Тут мається на увазі економічність у плані роботи тепловоза, але не можна забувати про економічності в плані утримання тепловоза, що пов'язано з поняттям життєвого циклу.

Тягово-енергетичні випробування. Під час даних випробувань визначають наступні показники:

- потужність по дизелю, N_e , кВт;
- витрати палива при номінальній потужності, часткових навантаженнях та на холостому ході, G_N, G_i, G_{xx} , кг;
- частоту обертання колінчатого валу дизеля, $n_{кв}$, об/хв;
- максимальний тиск згоряння в циліндрах дизеля, p_{max} , МПа;
- тиск наддувочного повітря дизеля, p_k , кПа;
- температуру вихлопних газів по циліндрах дизеля, T_y , °С;
- температури води та мастила в системі дизеля, T_v, T_m , °С;
- витрату повітря дизелем, G_n , кг;
- витрату охолоджуючої рідини й мастила, $G_{охр}, G_m$, л;
- розрядження на всмоктуванні, $p_{роз}$, кПа;
- протитиск на виході, $p_{роз}$, кПа;
- прискорювальну здатність дизеля, dN / dt , кВт/с;
- тягову характеристику тепловоза, $F = f(V)$;
- ККД тепловоза, η_m ;
- димність відпрацьованих газів, $k_{осн}$;
- питомі викиди окислів азоту та окису вуглецю, $\gamma_{NOx}, \gamma_{CO}$.

Випробування електрообладнання. Під час випробувань визначають наступні показники:

- працездатність при номінальних, граничних та аварійних режимах;
- напругу тягового генератора, U^{TG} ;
- потужність тягового генератора, P^{TG} ;
- струми тягових електродвигунів у режимі тяги та гальмування, I^{TED} ;
- розподіл струмів по тяговим двигунам, ΔI^{TED} ;
- зовнішню характеристику тягового генератора, $U^{TG} = f(I^{TG})$.

Випробування на працездатність довантажуючих пристроїв. За результатами випробувань обчислюється коефіцієнт використання зчіпної маси

$$\eta_s = \frac{1}{1 + K_p \Psi}, \quad (2.29)$$

де Ψ - коефіцієнт зчеплення.

Система гальмування забезпечує два основних процеси: забезпечення тепловоза стисненням повітрям і створення необхідної гальмівної сили для управління швидкістю руху поїзда.

Гальмівна система характеризується такими параметрами:

$$P^{GC} = \{p_{ГК}, V_{ГР}, P_{ГК}, n_{ГК}, T_{ТР}, p_{ц}\}, \quad (2.30)$$

де $p_{ГК}$ - тиск стисненого повітря в гальмівній системі (головних резервуарах), МПа;

$V_{ГР}$ - об'єм головних резервуарів, м³;

$P_{ГК}$ - продуктивність гальмівного компресора, м³/хв;

$n_{ГК}$ - частота обертання гальмівного компресора, об/хв;

$T_{ТР}$ - точка роси для системи осушення стисненого повітря, °С;

$p_{ц}$ - тиск в гальмівному циліндрі, МПа.

Випробування гальмівної системи. Метою даних випробувань є оцінка гальмівних якостей тепловоза і перевірка параметрів гальмівної системи на відповідність вимогам ТЗ. Під час випробувань визначають дійсну силу натиснення гальмівної колодки на бандаж залежно від тиску в гальмівному циліндрі $F_d = f(p_{ц})$, а також величину гальмівного шляху при різних режимах гальмування S_r . За цими даними обчислюють значення

розрахункового гальмівного натиснення F_p , розрахунковий гальмівний коефіцієнт ϑ_p , а також будують залежність гальмівного шляху від швидкості гальмування $S_r = f(v)$. Визначають ефективність стоянкового гальма.

Випробування гальмівного компресора, мета яких є встановлення дійсної продуктивності по часу нагнітання стисненого повітря у головні резервуари до тиску $p_{ГК}$ та потужності $N_{ГК}$, яка витрачається на його привід при номінальному режимі.

Основна функція допоміжного обладнання - це механічний та електричний привід забезпечувальних систем, а також нагнітання робочих рідин та газів, а саме:

- подача палива у циліндри;
- подача мастила до пар тертя;
- подача повітря у циліндри дизеля;
- подача охолоджуючої рідини до охолоджувальних пристроїв (дизеля, турбокомпресора, теплообмінника);
- подача охолоджуючого повітря до електричних машин та пристроїв;
- подача охолоджуючого повітря до холодильника дизеля.

До допоміжного обладнання відносять паливну, мастильну, повітряну системи, систему охолодження теплоносіїв та систему охолодження електричних машин.

Паливна система характеризується параметрами:

$$\Pi^{ПС} = \{V_{ПБ}, G_n, \delta_{fn}, p_{вп}, p_{П}\}, \quad (2.31)$$

де $V_{ПБ}$ - ємність паливного баку, л;

G_n - подача паливного насоса, л/хв;

δ_{fn} - розмір відсіяних забруднень при фільтрації палива, мкм;

p_{en} - тиск впорскування палива, МПа;

p_{II} - тиск палива у колекторі, кПа.

Випробування по визначенню питомої витрати палива дизелем. Метою випробувань є визначення: повної потужності дизеля N_d ; потужності, що витрачається на допоміжні потреби $N_{доп}$; питомої витрати палива g_e , кг/кВтгод на потужності 50-100% від повної потужності дизеля та витрата палива на мінімальній частоті обертання КВ дизеля g_{xx} , кг/хв.

Система змащення характеризується параметрами:

$$\Pi^{MC} = \{V_M, G_M, \delta_{\phi_M}, p_M, p_{\min}, T_M\}, \quad (2.32)$$

де V_M - об'єм мастила в системі, л;

G_M - подача маслопрокочуючого насоса, л/год;

δ_{ϕ_M} - розмір відсіяних забруднень при фільтрації мастила, мкм;

p_M - тиск мастила в колекторах, кПа;

$p_{\min}$ - тиск мастила при мінімальній частоті обертання КВ дизеля, кПа;

T_M - термін служби мастила, год.

Система охолодження характеризується такими параметрами:

- конструктивними

$$\Pi_K^{CO} = \{D_K, S_T, N_{кон}\}, \quad (2.33)$$

де D_K - діаметр вентиляторного колеса холодильника дизеля, м;

S_T - площа охолоджуючої поверхні трубок теплообмінника, м²;

$N_{кон}$ - кількість контурів в системі охолодження.

- функціональними

$$P_{\Phi}^{CO} = \{G_{BH}, P_B, T_{op}^{ex}, T_{op}^{вих}, T_{\text{м}}^{вих}, p_{op}, n_{BK}, Q_{om}\}, \quad (2.34)$$

- де G_{BH} - подача водяного насоса, м³/год;
 P_B - потужність вентилятора холодильника, кВт;
 T_{op}^{ex} - температура охолоджуючої рідини на вході в дизель, °С;
 $T_{op}^{вих}$ - температура охолоджуючої рідини на виході з дизеля, °С;
 $T_{\text{м}}^{вих}$ - температура мастила на виході з дизеля, °С;
 p_{op} - тиск охолоджуючої рідини за водяним насосом, МПа;
 n_{BK} - частота обертання вентиляторного колеса, об/хв;
 Q_{om} - тепловіддача охолоджувача мастила, кДж/год.

Випробування з визначення функціонування системи автоматичного регулювання температури теплоносіїв, на яких визначають температури охолоджуючої рідини $T_{op}^{вих}$ і мастила $T_{\text{м}}^{вих}$ на виході з дизеля в номінальному режимі.

Теплотехнічні випробування охолоджуючого пристрою, на яких визначаються температура охолоджуючої рідини і температура мастила при максимальній температурі експлуатації тепловозу згідно з ТЗ.

Система повітропостачання характеризується такими параметрами:

$$P_{\Phi}^{CP} = \{T_{\text{дон}}^{62}, n_{\text{дон}}, G_{\text{max}}, p_n, k_{oc}\}, \quad (2.35)$$

- де $T_{\text{дон}}^{62}$ - допустима температура відпрацьованих газів перед турбонагнітачем, °С;
 $n_{\text{дон}}$ - допустима тривала частота обертання ротора, об/хв;
 G_{max} - подача повітря при повній потужності, кг/с;
 p_n - тиск наддувочного повітря, МПа;
 k_{oc} - ступінь очищення наддувочного повітря повітроочисником, %.

Стендові випробування повітроочисника дизеля тепловоза проводять з метою визначення:

- аеродинамічного опору повітроочисника в залежності від витрати повітря

$$P_{\text{по}} = f(Q), \quad (2.36)$$

$$P_{\text{по}} \leq [P_{\text{по}}]^{T3}, \quad (2.37)$$

де $P_{\text{по}}$ - аеродинамічний опір повітроочисника, кПа;

Q - витрата повітря через повітроочисник, м³/с;

$[P_{\text{по}}]^{T3}$ - допустиме значення аеродинамічного опору повітроочисника згідно з ТЗ, кПа;

- статичного тиску в контрольній точці повітроочисника в залежності від витрати повітря

$$P_{\text{с кт}} = f(Q), \quad (2.38)$$

$$P_{\text{с кт}} \leq [P_{\text{с кт}}]^{T3}, \quad (2.39)$$

де $P_{\text{с кт}}$ - статичний тиск в контрольній точці, кПа;

$[P_{\text{с кт}}]^{T3}$ - допустиме значення статичного тиску в контрольній точці, кПа;

- коефіцієнту пропуску пилу при номінальній витраті повітря

$$K_{\text{пл}} \leq \left[\frac{1 - \eta}{100\%} \right], \quad (2.40)$$

де K_{III} - коефіцієнту пропуску пилу;

η - нормативна ефективність очищення повітря, $\eta \geq 97,5$ % [31].

Аеродинамічні випробування системи охолодження тягових електродвигунів. Мета випробувань - встановити ефективність охолодження ТЕД по статичному тиску $P_{ст}$, МПа охолоджуваного повітря в контрольних точках ТЕД.

Аеродинамічні випробування системи охолодження резисторів електродинамічного гальма. Мета - оцінка охолодження резисторів ЕДГ шляхом вимірювання температури $T_{ГР}$, °С їх поверхні при різній потужності $P_{ГР}$, кВт що підводиться.

Випробування на відповідність нормативним вимогам безпеки. Випробування цього розділу проводять для встановлення відповідності параметрів локомотива вимогам нормативної документації з безпеки ГОСТ 12.2.056 [36]. Вони включають:

- контроль забезпечення страхування від падіння деталей механічної частини екіпажу на колію, при яких перевіряють достатність страхувальних елементів і відповідність їх міцності нормативним вимогам;

- випробування по визначенню енергоємності поглинаючого пристрою для захисту локомотивної бригади;

- випробування з визначення параметрів мікроклімату в кабіні машиніста. Випробування полягають у визначенні температур в кабіні машиніста, їх різниць, а також швидкості руху повітря при працюючому кондиціонері. У результаті випробувань оцінюється ефективність роботи кондиціонера. При випробуваннях у зимовий період оцінюють роботу опалювальної системи;

- випробування з перевірки працездатності обігріву вікон. У ході даних випробувань встановлюється опір ізоляції нагрівачів вікон, питома потужність обігріву, перевіряється функціонування обігрівача;

- випробування з перевірки відповідності конструкції та компонування обладнання вимогам безпеки, ергономіки та виробничої санітарії. Випробування проводять методом натурного обстеження на відповідність вищевказаного НД та ТЗ;

- випробування з перевірки працездатності склоочисників та системи обмивання вікон. Обчислюють площу очищення лобового скла;

- випробування з перевірки фокусування і визначення осьової сили прожектора;

- випробування з оцінки видимості сигналів буферних ліхтарів;

- випробування з оцінки акустичних характеристик. У зміст даних випробувань входить визначенні: зовнішнього шуму від рухомого складу, шуму в кабіні машиніста, характеристик звукових сигнальних пристроїв;

- випробування з оцінки вібрації на робочому місці та визначення показників плавності ходу;

- випробування з оцінки пожежної безпеки. Визначаються показники пожежонебезпечних властивостей матеріалів та функціональної працездатності систем пожежної сигналізації та пожежогасіння;

- випробування з оцінки функціональної працездатності приладів безпеки руху.

Експлуатаційні випробування на працездатність. Під час випробувань визначають:

- загальний та середньодобовий пробіг тепловозів, $\sum l_{\text{лок}}$, $\sum l_{\text{доб}}$;

- середньодобову витрату палива, $g_{\text{доб}}$;

- відмови обладнання тепловоза та їх причину;

- кількість непланових ремонтів, простій та витрати на них, $N_{\text{ин}}$;

- кількість планових технічних обслуговувань та ремонтів, простій та витрати на них, $N_{\text{ТО}}$, $N_{\text{Р}}$, $C_{\text{ТОР}}$;

- трудомісткість основних і додаткових робіт на кожному технічному обслуговуванні та ремонті, $T_{\text{ТО}}$;

- значення параметра потоку відмов та середнього напрацювання на відмову.

Далі розглянуті види приймальних випробувань систематизовані [4] з урахуванням природи робочих процесів функціонування тепловозів. В систематизацію включені наступні класифікаційні ознаки та види випробувань згідно ДСТУ 3021:

- 1) Призначення випробувань (контрольні, порівнювальні, визначальні);
- 2) Етапи розроблення продукції (приймальні);
- 3) Умови та місце проведення випробувань (стендові, натурні, випробування з використанням моделей, експлуатаційні);
- 4) Характеристика об'єкта (функціональні, випробування на безпеку).

Доцільно включити випробування за ознакою умов та місця проведення, що додатково уточнюють ці ознаки, а саме стаціонарні, ходові і експлуатаційні випробування на працездатність. Під стаціонарними випробуваннями розуміється випробування ТРС в умовах, які відповідають умовам його використання згідно з прямим призначенням в межах станційних, деповських або заводських колій з безпосереднім оцінюванням чи контролем визначуваних характеристик властивостей ТРС. Під ходовими випробуваннями розуміється випробування ТРС в умовах, які відповідають умовам його використання згідно з прямим призначенням з виїздом на магістральні колії (в тому числі під час експлуатації) з безпосереднім оцінюванням чи контролем визначуваних характеристик властивостей ТРС. Під експлуатаційними на працездатність розуміється експлуатаційні випробування впродовж 5000 км пробігу, або 300 годин роботи ТРС, що проводяться після стендових, стаціонарних та ходових випробувань [67].

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 приведені на рисунку 2.5.

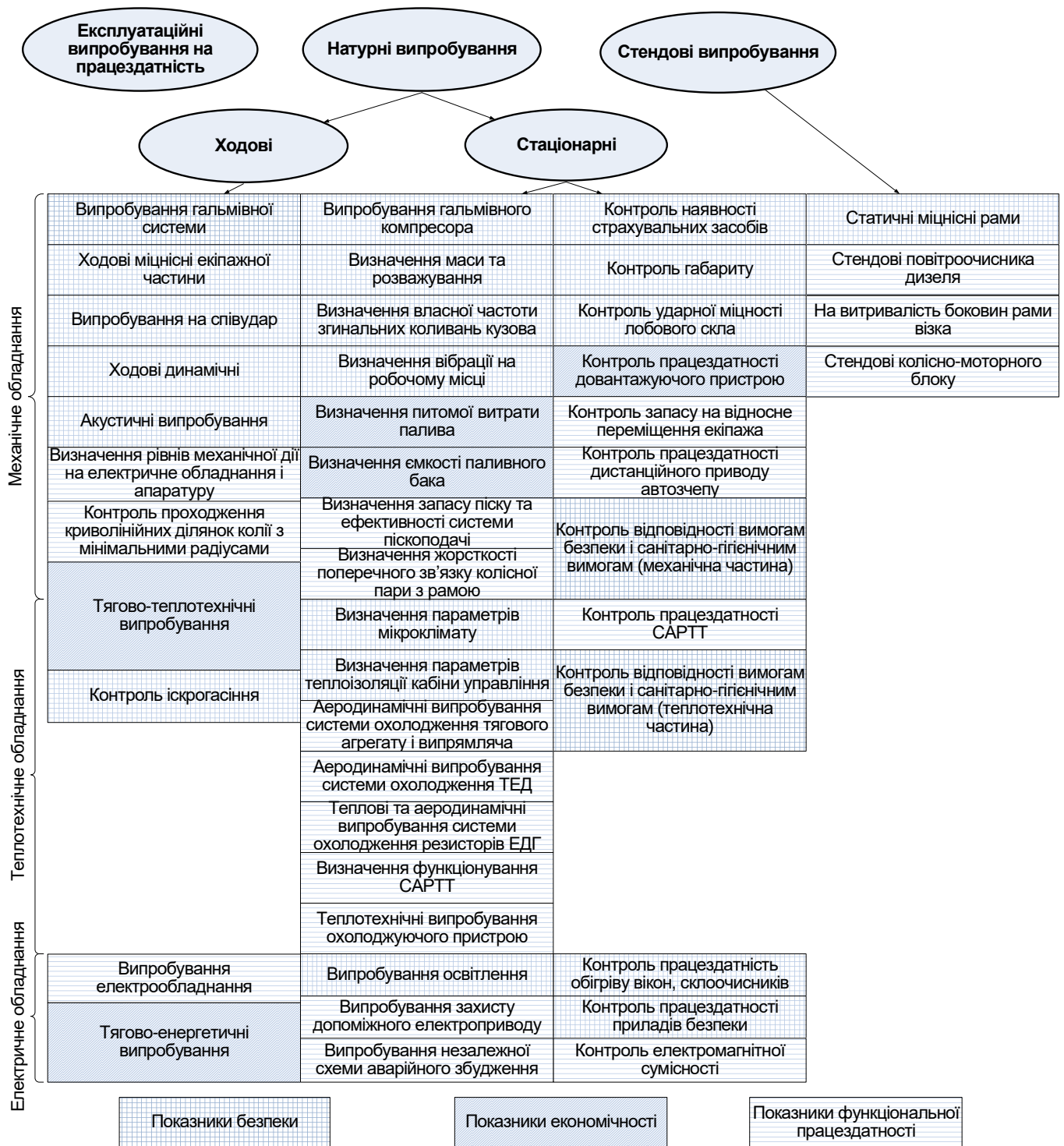


Рисунок 2.5. Систематизація видів приймальних випробувань тепловозів

Класифікація параметрів, що визначаються під час випробувань представлена на рисунку 2.6.

Згідно з [87] приймальні випробування продукції для залізничного транспорту повинні бути проведені в обсязі, який дозволяє визначити вплив змін на властивості вихідної продукції.

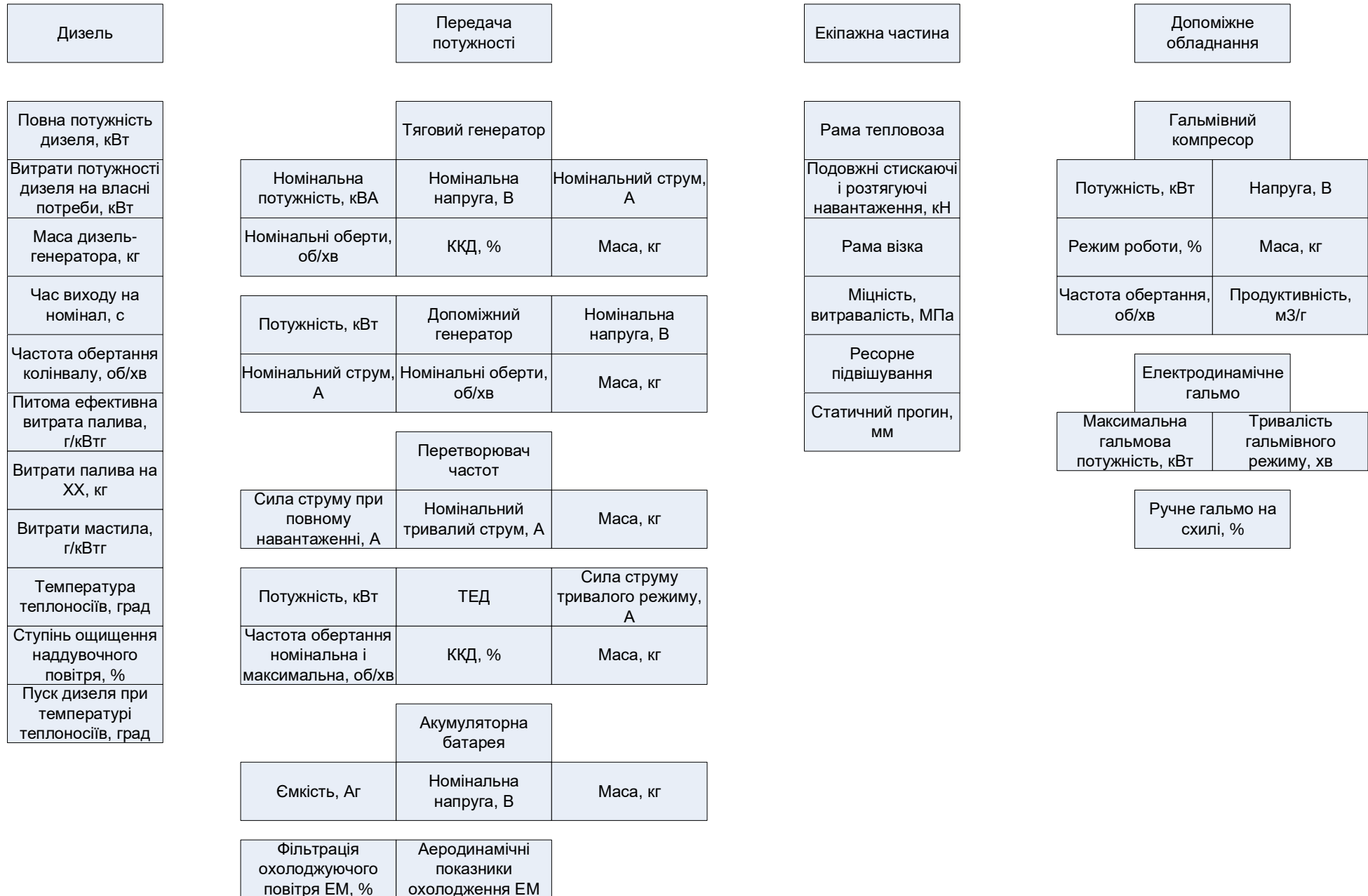


Рисунок 2.6. Класифікація параметрів що визначаються під час випробувань

2.3 Формалізоване описання структурно-функціональної будови тепловоза

До основних параметрів і характеристик тепловозів слід віднести ті, що істотно впливають на показники продуктивності, економічності, надійності, екологічності та ергономіки локомотивів. Крім того, виділяються параметри, що характеризують особливості технічних рішень конструкції локомотивів.

Для класифікації параметрів вибираємо наступні критерії:

- природа робочих процесів, які характеризуються параметрами;
- вузол тепловоза, до якого належить параметр;
- належність до показників, які характеризуються параметрами.

За природою робочих процесів параметри відносяться до наступних підмножин: механічні, електричні, теплові, гідравлічні, пневматичні, оптичні, акустичні. Для визначення належності параметрів до конкретних вузлів тепловозів, був проведений аналіз конструкції маневрового тепловозу і складена його блочно-ієрархічний модель. До верхнього розділу моделі включені наступні блоки: екіпажна частина; передача потужності; енергетична установка; допоміжне обладнання; автогальма; система керування, контролю та сигналізації; протипожежна система. Блочно-ієрархічна модель відноситься до двох координатної. Якщо попередній ряд відносити до осі абсцис, то ось ординат, наприклад для передачі потужності маневрового тепловоза буде наступною: тяговий генератор, магнітна система, магнітний полюс, обмотка, провід. Як видно, для даного випадку п'ятикратна форма аналізу від рівня вузла передача потужності до рівня деталі – провід. Доцільно для приймальних випробувань враховувати параметри першого та другого рівнів блочно-ієрархічної моделі.

Локомотив є складною технічною системою, яку можливо представити через три ієрархічні рівні. В теорії конструкції локомотивів традиційно склалася наступна схема представлення його основних збірних одиниць,

агрегатів та систем, які відображають його перший рівень: екіпаж, силова установка, передача потужності, допоміжне обладнання. Другий ієрархічний рівень представлений механічними, електричними, гідравлічними, пневматичними вузлами: колісні пари, візки, зубчаті передачі, редуктори, двигуни внутрішнього згорання, електродвигуни, електроапарати, генератори, компресори, муфти, насоси, вентилятори та інше. До третього рівня належать елементи різного призначення, якими укомплектовані вище перелічені вузли. В основному це різні види з'єднань, трубопроводів, корпусів, кронштейнів, валів, підшипників, гумовотехнічних, радіо-електричних та інших виробів.

Якщо звернутись до визначення тепловоза, як локомотива з автономним джерелом механічної енергії у вигляді двигуна внутрішнього згорання, то для приймальних випробувань достатньо перевірки ДВЗ тепловоза. Але теорія тяги поїздів описуючи вимоги до локомотивів вказує на те, що ДВЗ – дизель, виходячи із особливостей його характеристик не придатний за умовами тяги до експлуатації на залізницях. Крім того, дизелі що випускають для тепловозів потребують потужної системи охолодження, системи повітропостачання із фільтрацією, охолодженням та наддувом та інші системи, що не можуть бути змонтовані як один цілий з дизелем агрегат. Тому їх виокремлюють в системи допоміжного обладнання тепловоза, що складають різні типи компоновки обладнань локомотива. Всі спроби експлуатувати локомотив з ДВЗ були невдалими, поки не була застосована електрична передача потужності, що дала можливість використовувати тепловоз на залізничній службі для тяги поїздів.

Дизель, рушійна сила якого істотно не змінюється, розвиває максимальну потужність тільки при найбільшій швидкості обертання його вала. А за умовами експлуатації залізниць, від локомотива вимагається найбільша потужність як раз при невеликих швидкостях руху при розгоні або подоланні розрахункового підйому. Саме це розподілення потужності між

силою та швидкістю у необхідному відношенні забезпечує електрична передача потужності.

Постійне зростання потужності локомотива, збільшення швидкостей руху та ваги тепловозів ставить вимоги як до статичного навантаження конструкції тепловозів так і динамічних показників, враховуючи вплив на залізничну колію.

Приймальні випробування тепловоза мають завдання по визначенню відповідності деякої множини аспектів вимогам, що забезпечують ефективне використання тепловозів в експлуатації на залізницях. Обсяг цієї множини можливо визначити:

1. Через множину систем, що складають тепловоз.
2. Через множину функцій, що повинні забезпечити використання тепловозів в експлуатації.
3. Через множину вимог, що висуваються до тепловоза в цілому та до його окремих підсистем.

Множина систем S (таблиця 2.2, рисунок 2.7) вміщує в себе як базові елементи, що характеризують локомотив саме як тепловоз (системи дизель, передача потужності, екіпаж, допоміжне обладнання та авто гальмування), 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 інш.)

Дані елементи множини S об'єднуються в такі підмножини:

- механічне обладнання $M \subseteq S$;
- електричне обладнання $E \subseteq S$;
- теплотехнічне обладнання $T \subseteq S$.

Згідно з теорією множин пересічення вказаних множин є множини систем, робота яких пов'язана з різними за природою робочими процесами.

Таблиця 2.1 – Перелік підсистем тепловоза та їх позначення

№	Система	Позна- чення	№	Система	Позна- чення
1	Рама візка	RT	20	Головний вентилятор	GV
2	Головна рама	GR	21	Двомашинний агрегат	DA
3	Шкворень	Shk	22	Вентилятори охолодження тягових електродвигунів	VTD
4	Опора головної рами	OGR	23	Регулятор дизеля	REG
5	Кузов	K	24	Масляна система	MS
6	Букса	B	25	Маслопрокочуючий насос	MPN
7	Автозчеп	A	26	Водомасляний теплообмінник	VMT
8	Ресорне підвішування	RP	27	Водяна система	SO
9	Балансир	Bal	28	Холодильник	OU
10	Пісочне обладнання	PO	29	Гідромеханічний редуктор	GMR
11	Колісна пара	KP	30	Пневматичний компресор	PK
12	Тяговий редуктор	TR	31	Пневматична система гальмування	PS
13	Дизель	D	32	Контролер машиніста	CU
14	Паливна система	TS	33	Акумуляторна батарея	AB
15	Паливопідігрівач	TP	34	Тяговий генератор	TG
16	Протипожежна система	PPS	35	Тяговий двигун	TD
17	Паливопідкачуючий насос	TPN	36	Збуджувач	V
18	Ручний паливний насос	RTN	37	Допоміжний генератор	VG
19	Система наддуву повітря (турбокомпресор)	SN	38	Обмотка збудження збуджувача	OVV

$$M \cap T := \{s \mid s \in M, s \in T, s \in S\}, \quad (2.41)$$

$$M \cap E := \{s \mid s \in M, s \in E, s \in S\}, \quad (2.42)$$

$$T \cap E := \{s \mid s \in T, s \in E, s \in S\}. \quad (2.43)$$

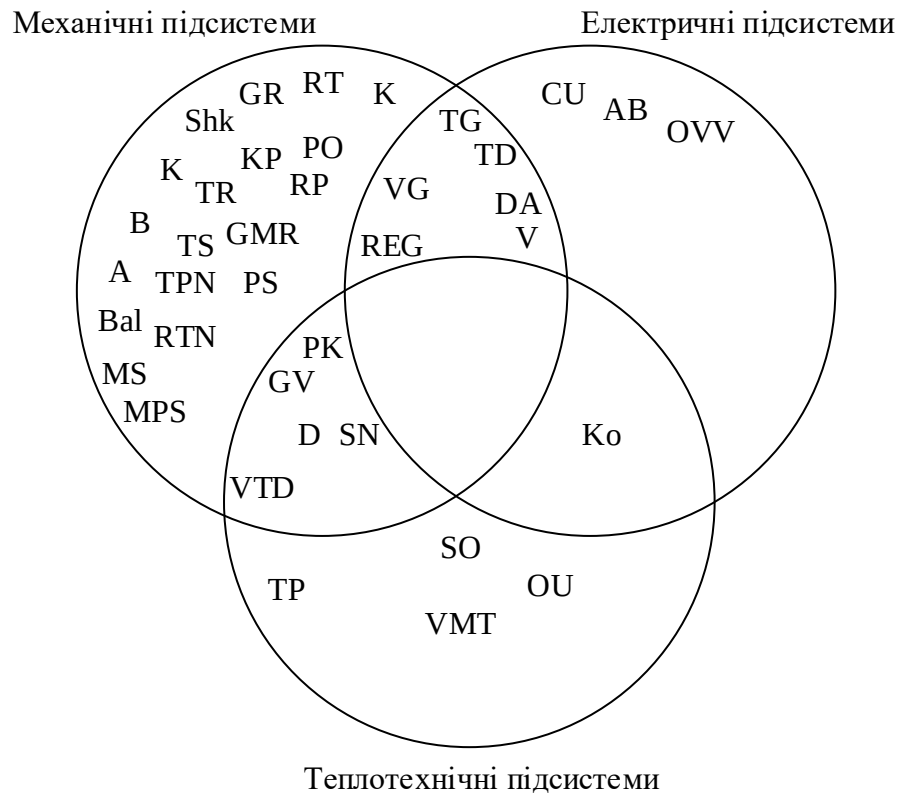


Рисунок 2.7 Множини підсистем тепловозів

В результаті проведена систематизація типових підсистем тепловозів, серед яких виділені елементи, в яких протікають різні за фізичної природою фізичні процеси. Це дає можливість оцінити структурну будову тепловоза.

Далі виконаний аналіз роботи тепловозу через множину його функцій. Функції розглядаються на двох рівнях відповідно до основних систем (силова установка, передача потужності, екіпажна частина, допоміжне обладнання) та їх підсистем. Функція може включати в себе кілька менш масштабних функцій. Функції проявляються в робочому процесі. Кожний робочий процес характеризується відповідними параметрами. Результати аналізу представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Аналіз функцій тепловозу

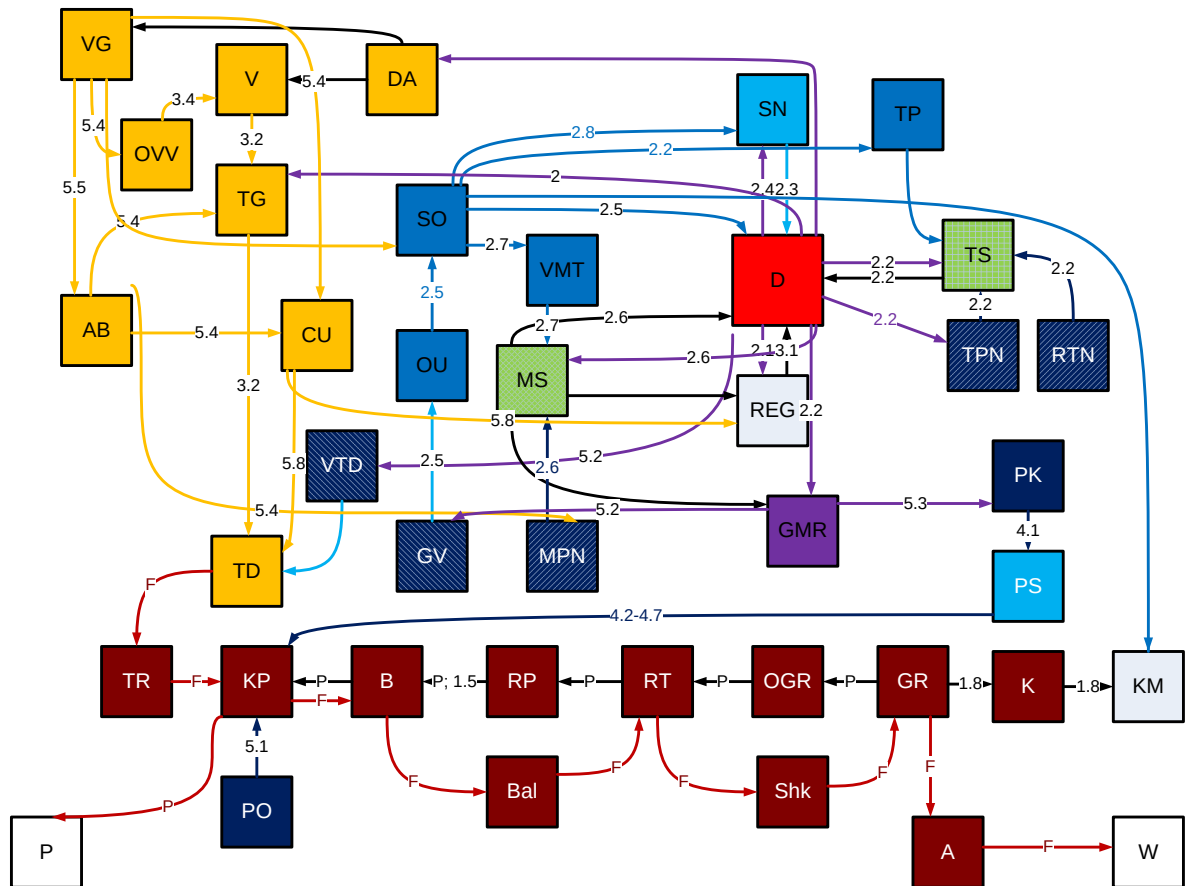
Функції першого рівня				
1. Передача тягових, гальмівних, статичних, динамічних зусиль за умови стійкого, плавного руху по рейковому шляху	2. Перетворення внутрішньої енергії палива в механічний рух	3. Управління механічним рухом з метою отримання заданої тягової сили	4. Автоматичне, автоматизоване і ручне управління необхідним гальмівним зусиллям	5. Забезпечення всього обладнання тепловоза заданої енергією, управлінням, контролем, сигналізацією і захистом. Розміщення робочого місця машиніста
Функції другого рівня				
1.1 Передача тягових і гальмівних зусиль	2.1 Автоматичне регулювання потужності силової установки	3.1 Повне використання вільної потужності дизеля	3.4 Забезпечення стисненням повітрям	5.1 Подача піску під колісні пари
1.2 Передача вертикальних і горизонтальних зусиль від ваги устаткування тепловоза і від взаємодії з верхньою будовою колії	2.2 Очищення, підігрів і подача палива	3.2 Формування тягової характеристики	3.5 Службо-ве, екстрене гальмування	5.2 Електричний привід вентиляторів охолодження ТЕД, ВУ, дизеля, резисторів ЕДТ
1.3 Зниження прискорень до заданих рівнів при русі на всьому діапазоні допустимих швидкостей	2.3 Очищення, подача і наддув повітря	3.3 Виявлення і захист від буксування	3.6 Автостоп	5.3 Електричний привід компресора

Продовження таблиці 2.2

1.4 Гасіння коливань тепловоза при русі на всьому діапазоні допустимих швидкостей	2.4 Вихлоп відпрацьованих газів	3.4 Обмеження тягового струму і напруги	3.7 Ступінчастий і повний отпуск	5.4 Забезпечення ланцюгів управління постійною напругою
1.5 Сталий рух по рейковому шляху на прямих ділянках і в кривих заданого радіуса	2.5 Зберігання, подача та охолодження рідини для охолодження силової установки	3.5 Захист від перевантаження дизеля	3.8 Ліквідація понадзаядного тиску	5.5 Зарядка акумуляторної батареї
1.6 Автоматичне зчеплення і відчеплення з рухомим складом	2.6 Змащення частин тертя силової установки	3.6 Виявлення і захист від буксування	3.9 Скидання волог з резервуарів	5.6 Пожежна сигналізація і захист
1.7 Зберігання запасу палива, піску	2.7 Охолодження змащувального масла		3.10 Допоміжне гальмо	5.7 Блокування тягової схем
1.8 Розміщення обладнання і кабіни управління	2.8 Охолодження наддувного повітря		3.11 Ручне гальмо	5.8 Контроль, сигналізація і захист

Після визначення множин структурних елементів та їх функцій розробляється структурно-функціональна схема тепловоза. Вона представляє 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 у відповідності до передачі енергії, матеріалу, інформації та інших впливів. Для прикладу така схема представлена для тепловоза ЧМЕЗ, який

проходить тепер різні види модернізацій на залізницях України (рисунок 2.8).



VG – допоміжний генератор; V – збуджувач; DA – двомашинний агрегат; SN – система наддування; TP – паливopідігрівач; OVV – обмотка збудження збуджувача; TG – ТГ; SO – система охолодження; VMT – водомасляний теплозмішник; 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 ТЕД; РК – пневматичний компресор; TD – ТЕД; GV – головний вентилятор; MPN – маслопрокачувальний насос; GMR – гідромеханічний редуктор; PS – пневматична система; TR – тяговий редуктор; KP – КП; 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 2.8. Структурно-функціональна схема тепловоза

Кожна вершина графа представляє собою структурний елемент відповідної системи тепловоза. Від кожної вершини графа ідуть ребра, що позначають виконання відповідної функції (таблиця 2.2) по передачі енергії або інформації. Враховуючи те, що кожна функція характеризується відповідними параметрами, які визначені у формулах 2.14 – 2.40, то при модернізації відповідного структурного елемента зміни настають перш за все по тим параметрам, які характеризують функції по вихідним ребрам. Крім того, необхідно впевнитись, що параметри функцій по вхідним ребрам відповідають технічним параметрам модернізованого обладнання.

Так при модернізації силової установки (ремоторизація) змінюються параметри функцій по ребрам 2.1, 2.2, 2.4, 5.2, які відповідають за зв'язки дизеля з іншим устаткуванням тепловоза, а саме регулятором частоти обертання REG, паливної системи TS, системи наддування SN, вентилятора охолодження ТЕД VTD.

По вхідним ребрам для нового дизеля повинні відповідати вихідні параметри відповідно 2.3, 2.5, 2.2, 3.1, 2.6.

Даний підхід дозволяє встановити вплив змін, внесених при модернізації будь-якої складності на техніко-економічні показники модернізованого тепловоза, оскільки вони в свою чергу залежать в кінцевому рахунку від зміни параметрів устаткування та обладнання, що модернізується.

2.4 Висновки за розділом 2

1) Розроблена інформаційна модель систематизації напрацювань в області випробувань тепловозів і оптимізації їх обсягу, що дозволить скоротити витрати і підвищити ефективність приймальних і дослідницьких випробувань з використанням сучасних досягнень теорій інформації,

подібності, моделювання та планування експерименту. Ця модель ґрунтується на розробленій новій концепції визначення обсягу приймальних випробувань модернізованих тепловозів.

2) 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. Даний підхід визначається розробленою концепцією проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів, яка враховує використання розрахункових моделей та оптимізацію обсягів їх випробувань.

3) 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.

4) 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.

РОЗДІЛ 3

ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ ПРИЙМАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ МОДЕРНІЗОВАНИХ ТЕПЛОВОЗІВ

3.1 Визначення обсягу модернізації тепловоза М62 та оцінка впливу змін, внесених під час модернізації, на техніко-економічні показники тепловоза

Серед існуючих підходів по модернізації тепловозів [1, 2, 3, 6, 100, 114, 116] найбільш перспективним із огляду проведеного аналізу парку є модернізація тепловозів М62 [5, 8, 65, 110].

Об'єкт випробувань – модернізований тепловоз серії М62 потужністю 2238 кВт з дизелем General Motors типу EMD645E3 (рисунок 3.1) з електричною передачею змінно-постійного струму.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд дизеля General Motors типу EMD645E3

У рамках модернізації в тепловозі М62 було замінено наступне основне обладнання [110]:

- генераторний блок, що складається з двотактного двигуна внутрішнього згорання і генераторів змінного струму;
- електрична система управління;
- система охолодження двигуна внутрішнього згорання;
- система маслопостачання двигуна внутрішнього згорання;
- система вентиляції локомотива і тягових двигунів;
- компресор пневматичної системи;
- обладнання кабін керування машиніста;
- стаціонарна установка протипожежного обладнання.

Основні техніко-економічні показники модернізованого тепловозу приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Основні характеристики модернізованого тепловоза М62

Наименование показателя	М62
Ширина колії, мм	1520
Осьова формула	(3 ₀ -3 ₀)
Потужність двигуна внутрішнього згорання, кВт	2238
Максимальна робоча маса локомотива, т	126
Максимальне осьове навантаження на рейку, кН	200
Довжина локомотива, м	17,55/17,40
Ширина локомотива, м	2,95
Висота локомотива, м	4,615
Максимальна експлуатаційна швидкість, км/год	100
Максимальна сила тяги при рушанні, кН	400
Сила тяги в тривалому режимі, кН	320
Пневматичне гальмо	Матросова
Запас палива, л	3900
Запас піску, кг	600
Ємність системи масла, л	800
Об'єм від поділки Low (нижній) до поділки Full (верхній) на показнику рівня масла двигуна внутрішнього згорання, л	178
Об'єм системи охолодження двигуна внутрішнього згорання, л	962

Тепловоз обладнаний автоматизованим управлінням призначений для роботи у вантажному режимі на магістральних залізничних коліях з шириною колії 1520 мм в кліматичних умовах класу В категорії розміщення - 1 відповідно до вимог ГОСТ 15150.

Вимоги до конструкції, пристрою і показників призначення тепловоза М62 визначаються ТЗ. Прилади безпеки, автогальмових обладнання, колісні пари і автозчепного пристрою повинні відповідати вимогам діючої нормативної документації Укрзалізниці.

Використовуючи розроблену концепцію, модель і структурно-функціональну схему тепловоза визначимо які показники треба перевіряти і які види випробувань проводити.

Екіпажна частина модернізованого тепловозу, якій проводять капітальний ремонт та подовження строку служби [88], залишається по структурно-функціональній схемі без змін. Тоді функції 1 групи (таблиця 2.2) приймають ті самі значення БТР, що і у штатного тепловоза М62. При цьому найбільше значення ентропії $E_M^{\Delta m}$ (3.5) за показником розважування, так як значна частина силового обладнання (дизель, генератор, допоміжні машини) по масі і розташуванні в кузові відрізняються від штатного тепловозу.

$$E_M^{\Delta m} = f(\Delta m) \square E_0^{\Delta m}, \quad (3.1)$$

де $E_M^{\Delta m}$ - ентропія за параметром розважування модернізованого тепловозу;

$E_0^{\Delta m}$ - ентропія за параметром розважування штатного тепловозу

При проведенні випробувань по визначенню маси та розважування отримаємо зниження $E_M^{\Delta m}$ і при цьому випробування по визначенню параметрів 2.14-2.19 можливо віднести до множини В_з.

Силове енергетичне обладнання, передача потужності, гальмівне і допоміжне обладнання піддають глибокої модернізації, тому змінюється

структурно-функціональна будова по всім функціям груп 2-5 (таблиця 2.2) другого рівня.

Тоді множина параметрів, яку потрібно встановити на приймальних випробуваннях визначається:

$$\{P_{\phi}\} = P_{\phi}^D + P_{\phi}^{III} + P^{GC} + P^{PC} + P^{MC} + P_{\phi}^{CO} + P_{\phi}^{CP}, \quad (3.2)$$

Далі по формулам 2.5-2.7 визначимо коефіцієнти порівняння БТР для формування множини B_5 видів приймальних випробувань. При цьому враховуючи показники, які можливо оцінити розрахунковим шляхом формуємо множину B_4 видів приймальних випробувань. У випадку проведення попередніх, або заводських випробувань, вони можуть бути зараховані в якості приймальних і скласти множину B_2 видів приймальних випробувань.

По розробленій концепції і запропонованим моделям були вибрані види випробувань, які входять в приймальні випробування модернізованого тепловозу серії М62 з дизелем EMD645 і відповідні їм масиви контролюючих параметрів.

Обов'язково визначаються наступні показники під час проведення натурних випробувань:

$$U_0 \subseteq \Pi_0 \subset \{B_1\} = \{S_T, \sigma_i, m_i, P_k, P_i^B\}, \quad (3.3)$$

де S_T - гальмівний шлях при службовому та екстреному гальмуванні, м;

σ_i - напруження від статичних, квазістатичних та динамічних навантажень, МПа;

m_i - маса і розважування тепловоза, кг;

P_k - продуктивність компресора, м³/хв;

P_i^B - нормативні показники безпеки експлуатації (у тому числі екологічні).

Враховуючи мету модернізації тепловоза М62 підвищення економічності вибрані показники, які визначаються під час приймальних випробувань:

$$U_i \subseteq \Pi_\Phi \subset \{B_2 + B_3 + B_4 + B_5\} = \left\{ F_k(V), N_k, g_e, g_o, B_x, t_i, \eta_i, \omega_{(t)}^n, T_o, \omega_{(t)}^{np}, T_o^{np}, T_y, T_{сл.у}^м, K_{Т.И.} \right\}, \quad (3.4)$$

де $F_k(V)$ - тягова характеристика;

N_k - дотична потужність тепловоза, кВт;

g_e, g_o - відповідно середньо експлуатаційні витрати дизельного палива та мастила, г/кВтгод;

B_x - витрати палива на холостому ході дизеля, кг;

t_i - температури теплоносіїв при різних режимах навантаження, °С;

η_i - коефіцієнти корисної дії основного та допоміжного обладнання;

$\omega_{(t)}^n, T_o$ - відповідно параметр потоку відмов і напрацювання на відмову при пошкодженнях, год⁻¹, год;

$\omega_{(t)}^{np}, T_o^{np}$ - відповідно параметр потоку відмов і напрацювання на відмову при непланових ремонтах, год⁻¹, год;

T_y - встановлене безвідмовне напрацювання, год;

$T_{сл.у}^м$ - термін служби мастила дизеля до заміни, год;

$K_{Т.В.}$ - коефіцієнт технічного використання.

3.2 Оптимізація обсягу приймальних випробувань модернізованого тепловоза

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 [75]. Як цільова функція вибрана сумарна вартість проведення приймальних випробувань:

$$\sum_{i=1}^N c_i \cdot u_i \rightarrow \min, \quad (3.5)$$

де c_i - вартість проведення i -го випробування, грн;

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:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N t_i \cdot u_i \leq T, \sum_{i=1}^N b_i \cdot u_i \geq B, \\ \sum_{i=1}^N r_i \cdot u_i \geq R, \sum_{i=1}^N e_i \cdot u_i \geq E \end{cases}, \quad (3.6)$$

де t_i - час на проведення i -го випробування, год;

T - відведений час на проведення приймальних випробувань, год;

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, $K = f(B, R, E), 0 < K \leq 1$.

Для визначення коефіцієнтів b_i були досліджені причини транспортних подій (рисунки 3.2), викликаних відмовами обладнання і систем тепловоза. Коефіцієнти r_i, e_i визначалися експертним шляхом.

Фрагмент результатів розрахунку з використанням даної моделі представлений в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результат визначення обсягу приймальних випробувань

Вибір обсягів випробувань	Не менше 90	Не менше 90	ЦФ	Не більше 875	
	90	90		875	50
	91,5	93	4750	690	33
Найменування випробувань	R	E	Z	T	Xi
1	2	3	4	5	6
Випробування по перевірці проходження криволінійних ділянок колії з мінімальними радіусами	2	0	25	10	1
Випробування гальмівної системи	9	0	100	30	1
Випробування по визначенню іскрогасіння глушником дизеля	0,1	0	25	5	1
Випробування по визначенню рівня механічного впливу на електричне обладнання та апаратуру	5	0	50	10	1
Статичні, ходові міцнісні та на співудар випробування екіпажної частини	1	0	500	60	1
Ходові динамічні випробування	3	0	500	60	1
Випробування електрообладнання	33	10	300	50	1
Аеродинамічні випробування системи охолодження ТЕД	5	5	200	30	1
Визначення питомої витрати палива дизеля	0,1	60	150	20	1
Випробування функціональності САПР	5	5	150	30	1
Випробування автозчепи	0,3	0	25	5	1
Випробування захисту допоміжного електроприводу	2	0	50	20	1
Випробування незалежної системи аварійного збудження тягового генератора	4	5	200	40	1

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6
Випробування по визначенню ємкості паливного баку і градуюванні паливовимірjuвального щупа	0	0	0	0	0
Випробування по визначенню запасу піску та ефективності системи піскоподачі	2	0	50	10	1
Випробування по визначенню маси і розважування тепловозу	1	5	100	40	1
Випробування по визначенню витрати повітря і аеродинамічного опору системи охолодження тягового агрегату і випрямляча	0	0	0	0	0
Випробування гальмівного компресора	2	1	150	30	1
Контроль запасу на відносне переміщення екіпажу	2	0	50	10	1
Випробування на працездатність довантажуючого пристрою	0	0	0	0	0
Визначення жорсткості поперечного зв'язку колісної пари з рамою візка	0	0	0	0	0
Визначення власної частоти згинальних коливань кузова	0	0	0	0	0
Перевірка габаритних показників зовнішнього окреслення	1	0	25	5	1
Статичні стендові випробування головної рами	3	0	400	10	1
Стендові випробування колісно-моторного блоку	4	2	300	10	1
Стендові випробування САРТТ на працездатність	0	0	0	0	0
Стендові випробування повітроочисника дизеля	0	0	0	0	0
Теплові і аеродинамічні випробування системи охолодження резисторів ЕДГ	1	0	200	30	1
Теплотехнічні випробування охолоджуючого пристрою	0	0	0	0	0
Стендові випробування на витривалість боковин рами візка	1	0	250	10	1
Кліматичні випробування пристроїв автоматики	0	0	0	0	0
Випробування по перевірці акустичних характеристик	0	0	0	0	0

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6
Випробування по оцінці вібрації на робочому місці в кабіні машиніста	0	0	0	0	0
Випробування по визначенню параметрів мікроклімату (з кондиціонуванням повітря)	0	0	0	0	0
Випробування по визначенню параметрів мікроклімату (з системою опалення)	0	0	0	0	0
Випробування по визначенню параметрів штучного освітлення	0	0	0	0	0
Випробування по визначенню параметрів теплоізоляції кабіни машиніста	0	0	0	0	0
Випробування по оцінці видимості сигналів буферних ліхтарів	0	0	25	5	1
Випробування по перевірці працездатності обігріву вікон	0	0	25	10	1
Випробування по перевірці відповідності конструкції і компоновки обладнання вимогам безпеки, ергономіки та промислової санітарії	0	0	100	20	1
Випробування по перевірці фокусування і визначенню осьової сили прожектора	0	0	50	10	1
Випробування склоочисників і системи омивання вікон	0	0	25	5	1
Контроль наявності страхувальних засобів від падіння деталей механічної частини на колію	0	0	25	5	1
Визначення вмісту шкідливих речовин у повітрі в кабіні машиніста	0	0	0	0	0
Оцінка функціональної працездатності приладів безпеки	2	0	150	30	1
Випробування на пожежну безпеку	0	0	100	10	1
Випробування по перевірці ударної міцності лобових вікон	0	0	150	10	1
Випробування по визначення екологічних показників	0	0	150	30	1
Випробування на електромагнітну сумісність	3	0	150	30	1

Залежність достовірності визначення показників безпеки, надійності і економічності від витрат на випробування наведені на рисунках 3.3, 3.4. За результатами моделювання також отримані криві витрат і часу на приймальні випробування, в залежності від їх кількості, (рисунки 3.5, 3.6).

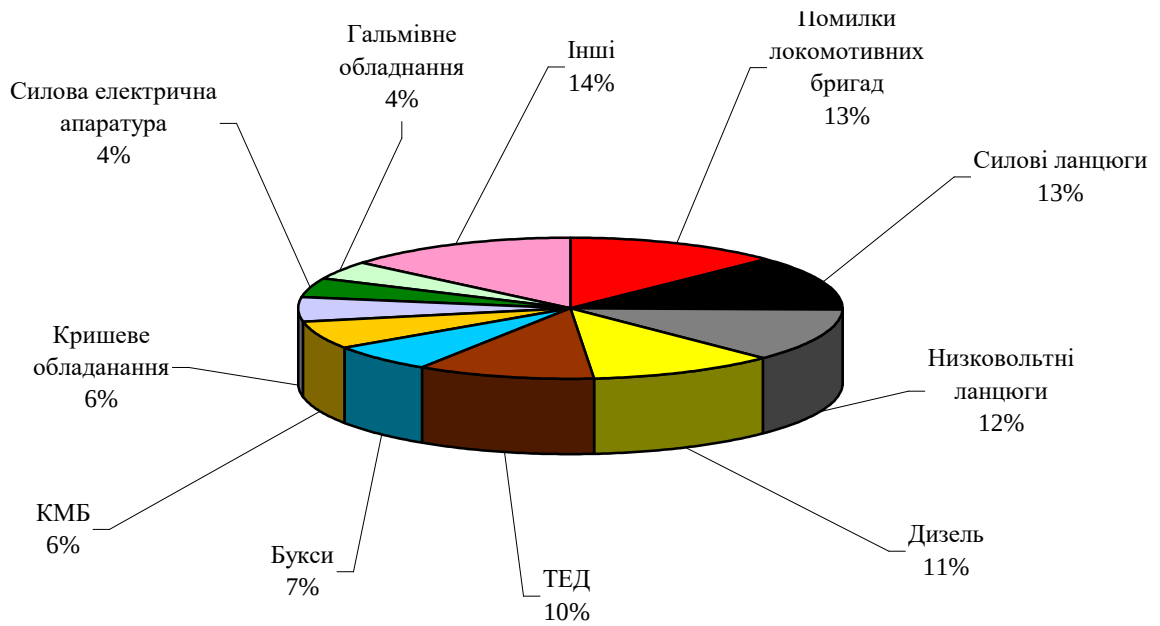


Рисунок 3.2. Аналіз впливу несправності обладнання тепловоза на безпеку руху

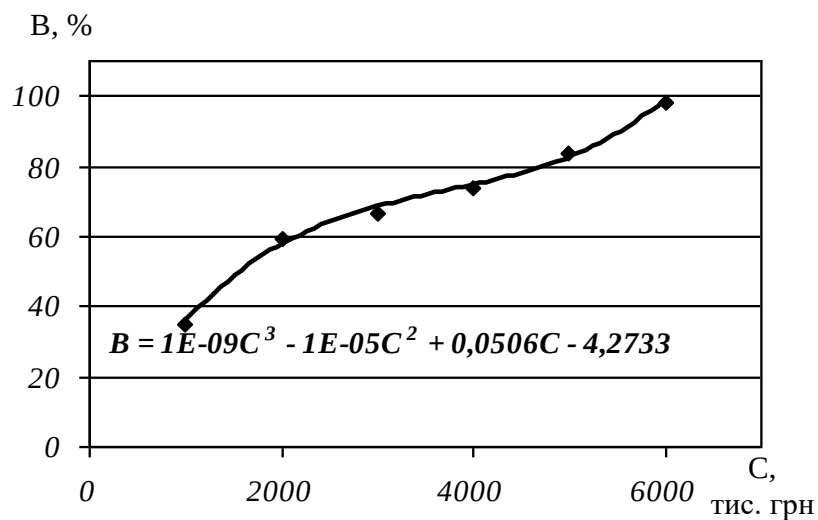


Рисунок 3.3. Залежність достовірності показників безпеки від витрат на випробування

По цій залежності (рисунок 3.3) видно, що критерій достовірності показників безпеки може бути забезпечений при проведенні всіх обов'язкових випробувань.

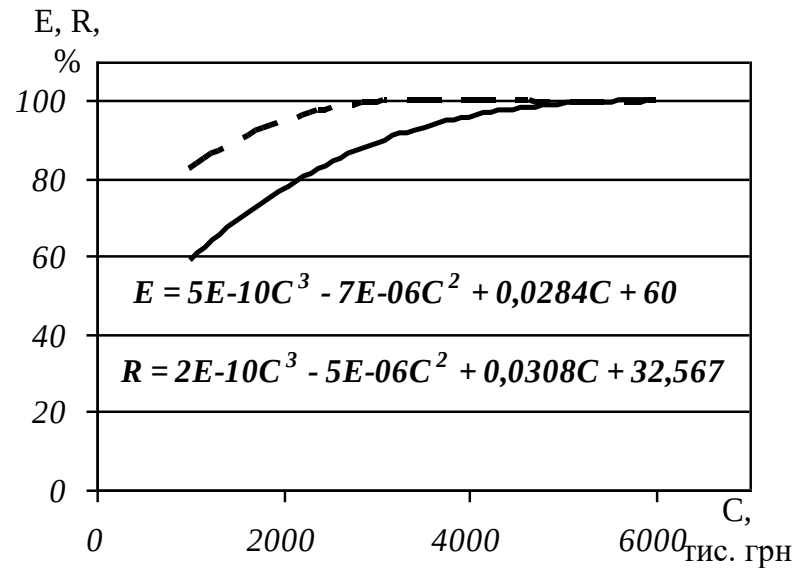


Рисунок 3.4. Залежність достовірності показників надійності та економічності від витрат на випробування

Залежність критерію достовірності показників надійності та економічності показує, що збільшення витрат на випробування більше 2,5 млн не дасть суттєвого збільшення достовірності по цим показникам.

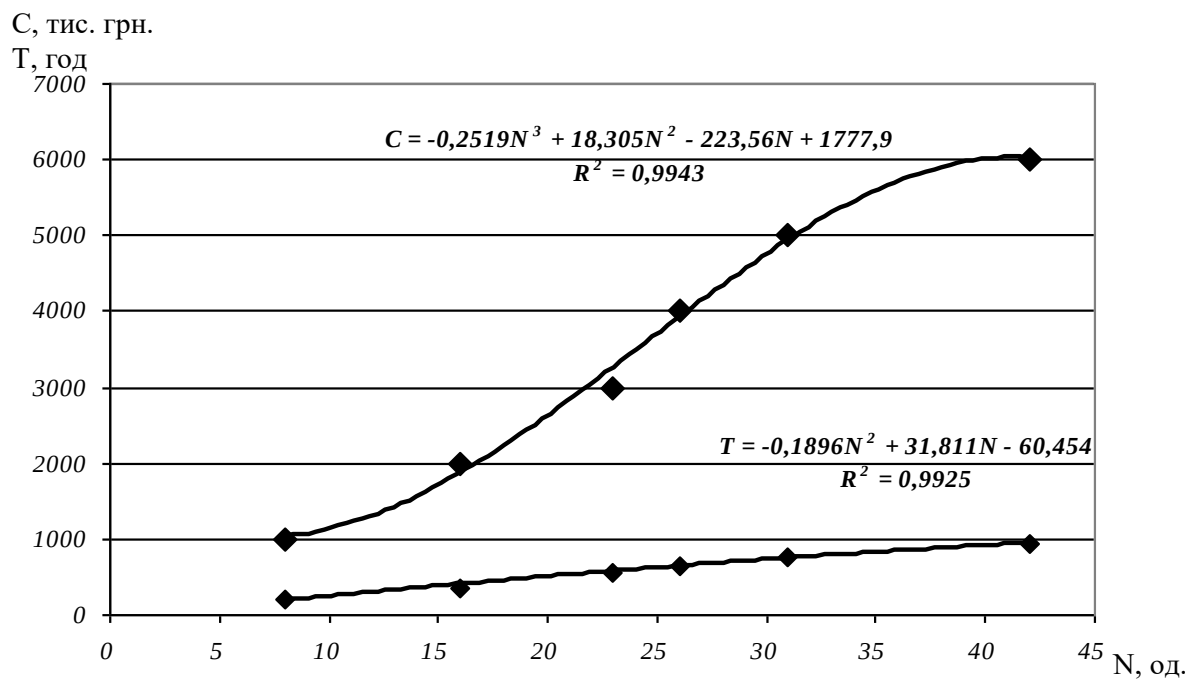


Рисунок 3.5. Залежність витрат і часу на випробування від кількості випробувань

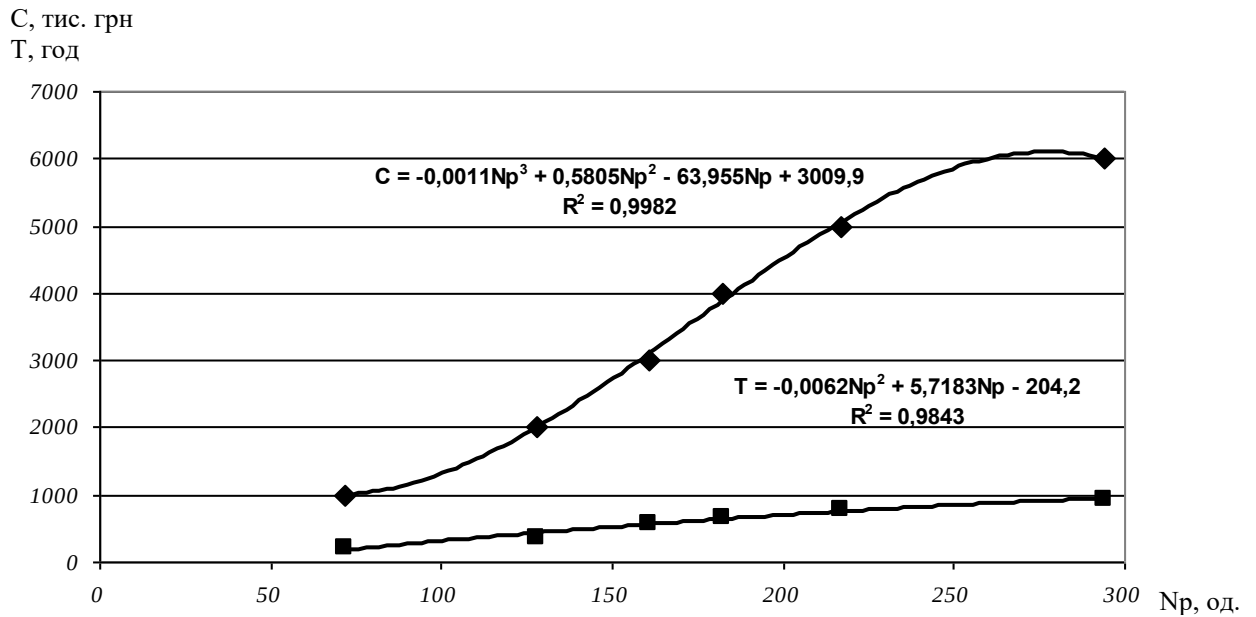


Рисунок 3.6. Залежність витрат і часу на випробування від кількості випробуваних параметрів

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

3.3 Проведення порівняльних експлуатаційних випробувань серійного тепловозу М62 і модернізованого М62М

Для проведення порівняльних випробувань серійного і модернізованого тепловозів була розроблена програма-методика для визначення показників ефективності використання модернізованих тепловозів М62М (рисунок 3.7) у порівнянні з серійними в умовах експлуатації на Львівській залізниці.



Рисунок 3.7 – Загальний вид модернізованого тепловозу М62М

Метою випробувань є оцінка, впродовж встановленого терміну, показників економічної ефективності використання модернізованого тепловоза М62М у порівнянні з серійними тепловозами М62, основних показників надійності по ГОСТ 27.002, що характеризують працездатність тепловоза, стабільність параметрів регулювання, пошкоджувальність і ремонтпридатність, економічність, а також порівняння отриманих показників з вимогами ТЗ і діючими в Україні нормативними вимогами до рухомого складу цього класу.

Методи випробувань ґрунтуються на визначенні експлуатаційних параметрів, розрахунку техніко-економічних показників, показників надійності і порівнянні їх із допустимими значеннями, визначеними ТЗ та чинною нормативною документацією Укрзалізниці.

Оцінка експериментально визначених показників, що характеризують експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт модернізованих тепловозів

М62М ґрунтується на порівнянні їх із аналогічними даними отриманими для тепловоза М62.

В період проведення порівняльних експлуатаційних випробувань тепловозів М62М і М62 визначалися дані, представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Показники, які визначалися під час проведення випробувань

№	Найменування показника	Позначення
1	2	3
1	Загальний пробіг, км	L_o
2	Середньодобовий пробіг, км	$L_{доб}$
3	Вантажообіг тепловоза, ткм бр.	$Q_{бр}$
4	Загальна витрата палива, кг	B_o
5	Середньодобова витрата палива, кг	$B_{доб}$
6	Загальна витрата мастила, кг	M_o
7	Загальна витрата води, л	$B_{во}$
8	Загальна витрата піску, кг	P_o
9	Відмова кожної складальної одиниці та її причина	$N_{відм}$
10	Кількість позапланових ремонтів	$N_{пр}$
11	Пробіг тепловозів до кожного позапланового ремонту від початку експлуатації або поточного ремонту, км	$L_{пр}$
12	Витрати на проведення позапланових ремонтів, грн	$З_{пр}$
13	Простій тепловозів на кожному позаплановому ремонті, год	$T_{пр}$
14	Витрати на кожне обслуговування, грн	$C_{отр}$
15	Експлуатаційні витрати на поїзну роботу, грн	C_e
16	Кількість планових технічних обслуговувань,	$N_{то}$
17	Простій тепловозів на кожному плановому ТО, год	$T_{то}$
18	Трудовісткість основних (регламентних) і додаткових робіт на ТО, людино-годин	$C_{тоо}, C_{тод}$

Первинний облік експлуатаційних, ремонтних і економічних показників проводиться за існуючими в локомотивному депо форм обліку та статистичної звітності в системі Укрзалізниці.

Оцінку економічної доцільності модернізації тепловоза М62 по проекту «Rail Polska Sp. z o.o.» і надійності в умовах експлуатації виконуємо шляхом збирання даних для аналізу і розрахунку показників.

На основі цих даних після закінчення експлуатаційних випробувань повинні бути розраховані наступні показники:

- безвідмовності

а) для вузлів, що ремонтуються:

ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$

інтенсивність відмов $\lambda(t)$

середня напрацювання до першого відмови T_{cp}

б) для вузлів, що не ремонтуються:

ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$

параметр потоку відмов $\omega(t)$

середнє напрацювання на відмову T_o

- ремонтпридатності

Для оцінки ремонтпридатності модернізованого тепловоза М62М і його вузлів при проведенні ТО і ПР при наявності інформації повинні бути визначені наступні показники:

- перелік робіт, що проводяться на ТО і ПР;

- середня оперативна тривалість ТО і ПР;

- середня оперативна трудомісткість ТО і ПР;

- середня тривалість ТО і ПР;

- середня трудомісткість ТО і ПР.

На підставі визначених показників ремонтпридатності повинні бути розраховані (згідно ГОСТ 21623):

- коефіцієнт готовності;

- коефіцієнт оперативної готовності;

- коефіцієнт легкознімності.

На підставі отриманих розрахункових даних виконується загальний аналіз надійності модернізованого тепловоза М62М та М62 як в цілому, так і за основними його вузлів:

- експлуатаційних витрат
- зарплата локомотивних бригад;
- паливо;
- матеріали (масло, пісок, вода).
- надійність
- оцінити конструкцію тепловоза на відповідність кліматичному виконанню;
- оцінити наслідки механічних впливів зовнішнього середовища на обладнання тепловоза М62;
- визначити необхідний рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу;
- визначити повноту і відповідність ремонтно-експлуатаційної документації;
- оцінити відповідність ремонтної бази депо для обслуговування і ремонту тепловозів М62;
- оцінити загальну ремонтпридатність тепловозів М62;
- зробити оцінку по загальній працездатності тепловозів М62М в умовах експлуатації на залізницях України.

При проведенні експлуатаційних випробувань використовується нормативно-технічна документація Укрзалізниці, ремонтно-експлуатаційна документація Виробника, звітна документація депо та реєструючі засоби, що використовуються на тепловозі М62.

Для підготовки проведення експлуатаційних випробувань на відповідність показників надійності заданим нормам Виробник надає випробувальним організаціям наступні матеріали:

- акт про готовність модернізованого тепловоза М62 до експлуатаційних випробувань, підписаний інспектором-приймальником

Укрзалізниці;

- протоколи попередніх та приймальних випробувань тепловоза М62, проведених на базі випробувальних центрів;
- інструкції з експлуатації та технічного обслуговування;
- складальні креслення візків і кузова, схему гальмівного обладнання тепловоза.

Додатково Виробник представляє офіційно підтверджені інспектором-приймальником УЗ наступні матеріали:

- акт з даними про попередні пробіги тепловоза М62 на початок експлуатаційних випробувань;
- акт з даними про наявний прокату, товщини гребенів, товщини бандажів колісних пар.

Для проведення експлуатаційних випробувань необхідно наявність розпорядчих документів адміністрації Укрзалізниці відповідним службам залізниць України в рамках яких проводяться випробування.

Для організації експлуатаційних випробувань модернізованого тепловоза М62 УЗ видає розпорядчі акти, що визначають:

- локомотивне депо приписки на час випробувань;
- ділянка звернення, графік руху і схему формування потягу у складі тепловоза М62;
- порядок підготовки для випробувань вантажних поїздів;
- відповідальна особа від управління дороги.

Начальник локомотивного депо видає наказ по виконанню обсягу випробувань, призначенням відповідальних осіб за:

- експлуатацію тепловозів М62;
- технічне обслуговування та поточні ремонти;
- організацію технічного навчання з вивчення особливостей конструкції і технічного обслуговування;
- організацію збору, систематизацію, аналіз даних та підготовку необхідної звітності за результатами випробувань.

Технічні служби депо, в якому проводиться випробування ведуть облік показників роботи тепловозів М62М і М62 та їх технічного обслуговування за формами деповської звітності, що передбачаються «Альбомом форм первинної документації по локомотивному господарству»:

- настільний журнал чергового по депо, форма ТУ-1;
- книга запису ремонтів локомотивів, форма ТУ-28;
- книга пошкоджень та несправностей локомотивів, форма ТУ-29;
- журнал технічного стану локомотивів, форма ТУ-152;
- журнали ділень та відділень локомотивного депо;
- звіт про результати витрати палива і виконаної роботи локомотивами, форма ТХО-5.

Під час випробувань будь-яка організація-учасниця випробувань може організовувати додаткові спостереження, вимірювання параметрів, які розширюють інформацію про роботу окремих вузлів.

Відмови тепловозів М62М та М62 аналізуються спеціалістами визначених організацій та локомотивним депо, а результати аналізу причин відмови оформлюються актом.

Умовою припинення випробувань є:

- виконання програми випробувань;
- поява в процесі випробувань недопустимих значень показників, що характеризують надійність тепловоза М62М и безпеки його руху;
- поява відмов обладнання М62М, які роблять неможливою його подальшу експлуатацію.

3.4 Висновки до розділу 3

1) 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.

2) 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.

3) Вибрані техніко-економічні показники перевірені під час проведення порівняльних випробувань серійного тепловоза М62 і модернізованого М62М. Встановлена доцільність використання нової концепції проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів з метою зменшення обсягів натурних випробувань і тим самим зниження витрат і трудомісткості на їх проведення при забезпеченні достовірності отриманих результатів.

РОЗДІЛ 4

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНИХ ТЕПЛОВОЗІВ З УРАХУВАННЯМ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРИЙМАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ

4.1 Моделювання робочих параметрів модернізованих тепловозів М62 як об'єктів випробувань

Розроблювана модель описує роботу основних вузлів тепловоза [7] від яких залежить показники функціонування, вимоги до яких вказані в технічному завданні на тепловоз та інших нормативних документах. В результаті використання моделі отримуються значення робочих параметрів, по яким можливо отримати характеристики механічного руху, електричних, теплових, пневматичних процесів, а саме потужності, сили тяги, швидкості, напруги, сили струму, температури, тиску та інш. Ці характеристики далі порівнюються з запроектованими і заявленими відповідно до документації виробника. В результаті роботи підтверджується адекватність моделі та формуються висновки щодо модернізованого тепловозу як об'єкта випробувань.

Склад моделі відображає конструкцію та принципи роботи тепловоза і містить наступні частини:

- модель силової установки (двигуна внутрішнього згорання) тепловоза;
- модель тягової електричної передачі;
- модель руху поїзда з врахуванням умов експлуатації.

До моделі силової установки включений тепловий розрахунок двотактного дизеля. Параметри робочого тіла визначаються наступними параметрами:

$$\begin{cases} L_0, l_0 = f(C, H, O) \\ M_1 = f(\alpha, L_0) \\ M_2 = f(M_{CO_2}, M_{H_2O}, M_{O_2}, M_{N_2}) \end{cases}, \quad (4.1)$$

де L_0, l_0 - теоретично необхідна кількість повітря, кмоль повітря/кг палива, кг повітря/кг палива;

C, H, O - елементарний склад палива;

M_1, M_2 - кількість свіжого заряду і загальна кількість продуктів згорання, кмоль свіжого заряду/кг палива;

$M_{CO_2}, M_{H_2O}, M_{O_2}, M_{N_2}$ - кількість компонентів продуктів згорання, кмоль/кг.

Параметри навколишнього середовища і залишкові гази:

$$\begin{cases} T_k = f(T_0, p_k, p_0, n_k) \\ T_r, p_r \end{cases}, \quad (4.2)$$

де T_k - температура навколишнього середовища, К;

T_0, p_0 - атмосферні умови, К, МПа;

T_r, p_r - температура і тиск остаточних газів, К, МПа.

Параметри процесу впуску:

$$\begin{cases} p_a = f(p_k, \Delta p_a) \\ \gamma_r = f(T_k, T_r, p_r, \varepsilon, p_a, p_r) \\ T_a = f(T_k, \gamma_r, T_r) \\ \eta_v = f(T_k, \varepsilon, p_a, p_r, p_k) \end{cases}, \quad (4.3)$$

де T_a, p_a - температура і тиск в кінці впуску, К, МПа;

Δp_a - втрати тиску на впуску, МПа;

γ_r - коефіцієнт залишкових газів;

η_v - коефіцієнт наповнення.

Параметри процесу стиснення:

$$\begin{cases} p_c = f(p_a, \varepsilon, n_1) \\ T_c = f(T_a, \varepsilon, n_1) \end{cases}, \quad (4.4)$$

де T_c, p_c - температура і тиск вкінці стиснення, К, МПа;

n_1 - середній показник адіабати і політропи стиснення;

Параметри процесу згорання:

$$\begin{cases} \mu_0 = f(M_1, M_2) \\ \mu = f(\mu_0, \gamma_r) \\ H_{rsm} = f(H_u, M_1, \gamma_r), \\ T_z, p_z = f(\lambda, p_c) \\ \rho = f(\mu, T_z, \lambda, T_c) \end{cases} \quad (4.5)$$

де μ_0, μ - коефіцієнти молекулярної зміни свіжої і робочої суміші;

H_{rsm}, H_u - теплота згорання робочої суміші і нижня теплота згорання палива, МДж/кг;

T_z - температура в кінці видимого процесу згорання, що визначається з рівняння, °С

$$[\phi_z \cdot H_{rsm} + [(mc_{v'}) + 8,315 \cdot \lambda] \cdot t_c + 2270 \cdot (\lambda - \mu)] - \mu \cdot (tzm_{c_{p'}}) \cdot t_z = 0, \quad (4.6)$$

де ϕ_z - коефіцієнт використання теплоти;

λ - ступінь підвищення тиску в дизелі;

$(mc_{v'}), (tzm_{c_{p'}})$ - середня мольна теплоємність продуктів згорання в дизелі;

$$T_z = t_z + 273;$$

ρ - ступінь попереднього розширення.

Параметри процесу розширення:

$$\begin{cases} \delta = f(\varepsilon, \rho) \\ p_b = f(p_z, \delta, n_2), \\ T_b = f(T_z, \delta, n_2) \end{cases} \quad (4.7)$$

де T_b, p_b - температура і тиск в кінці розширення, К, МПа;

δ - ступінь розширення.

Індикаторні параметри робочого циклу:

$$\begin{cases} p_{i'} = f(p_c, \varepsilon, \lambda, \rho, n_2, \delta, n_1) \\ p_i = f(\phi_h, p_{i'}) \\ \eta_i = f(p_i, l_0, \alpha, H_u, p_k, \eta_v) \\ g_i = f(H_u, \eta_i) \end{cases} \quad (4.8)$$

де $p_{i'}$ - теоретично середній індикаторний тиск, МПа;

p_i - середній індикаторний тиск, МПа;

ϕ_h - коефіцієнт повноти діаграми;

g_i - індикаторна питома витрата палива, г/кВтгод.

Ефективні параметри роботи дизеля:

$$\begin{cases} p_e = f(p_i, p_m) \\ p_m = f(V_{cp}) \\ g_e = f(p_e, p_i, H_u, \eta_e) \end{cases} \quad (4.9)$$

де p_e, p_m - середньо ефективний тиск і тиск механічних втрат, МПа;

g_e - ефективна питома витрата палива, г/кВтгод.

Результати моделювання силової установки використовуються при моделюванні робочих параметрів функціонування передачі потужності. Модель тягової електричної передачі побудована на залежностях основних

параметрів її функціонування та законах збереження енергії при передачі потужності від дизеля до колісних пар тепловоза.

Основні параметри тягової передачі розраховуються по наступним залежностям:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_o = \frac{V_T \mu_{zn}}{3,6 R_k}, \sum M_o = \frac{F_T R_k}{\eta_{zn} \mu_{zn}}, M_o = \frac{\sum M_o}{6}, \\ P_t = \frac{M_o \omega_o}{1000}, I_o = \frac{I_\Gamma}{6}, \Phi_o = \frac{M_o}{0,98 C_o I_o}, \\ E_o = C_o \Phi_o \omega_o, U_o = E_o + I_o R_o, P_\Gamma = \frac{6 U_o I_o}{1000}, \\ E_\Gamma = U_\Gamma + I_\Gamma R_\Gamma, \Phi_\Gamma = \frac{E_\Gamma}{C_\Gamma \omega}, M_{el\Gamma} = C_\Gamma \Phi_\Gamma I_\Gamma, \\ \eta_\Gamma = \frac{0,96 U_\Gamma}{E_\Gamma}, P_D = \frac{P_\Gamma}{\eta_\Gamma}, M_D = \frac{1000 P_D}{\omega}, \\ G_f = M_e \omega g_e 10^{-6}, g_c = \frac{1000 \pi G_f}{30^2 \omega} \end{array} \right., \quad (4.10)$$

В результаті моделювання отримані основні характеристики тепловозів. Залежність потужності дизеля від циклової подачі палива та від кутової швидкості колінчатого валу дизеля приведено на рисунку 4.1.

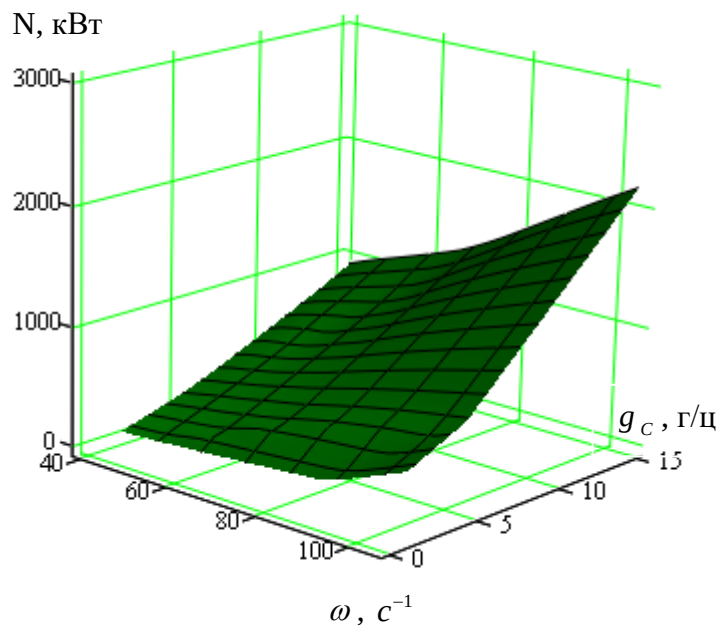


Рисунок 4.1. Залежність потужності дизеля від циклової подачі палива та від кутової швидкості колінчатого валу дизеля

Залежність потужності і крутного моменту від частоти обертання вала дизеля на рисунку 4.2.

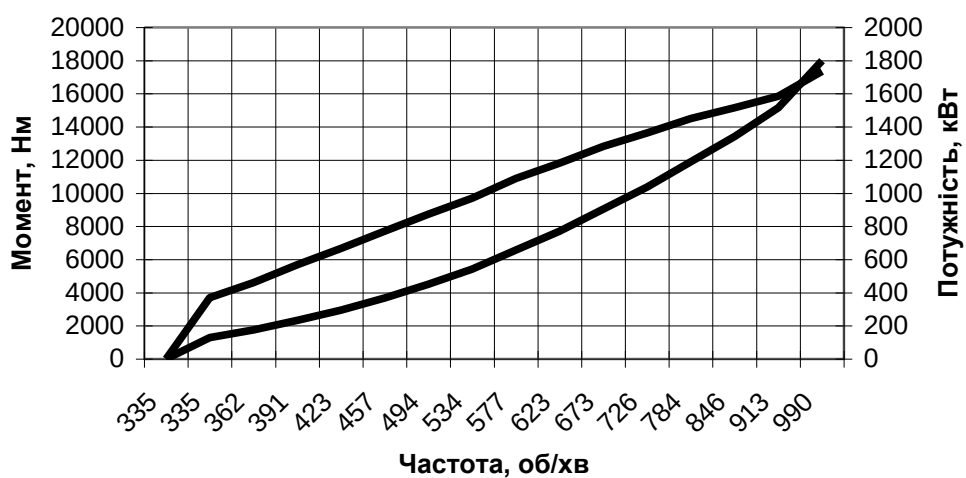


Рисунок 4.2. Залежність потужності і крутного моменту від частоти обертання вала дизеля

Залежність потужності від кутової швидкості колінчатого вала дизеля на рисунку 4.3.

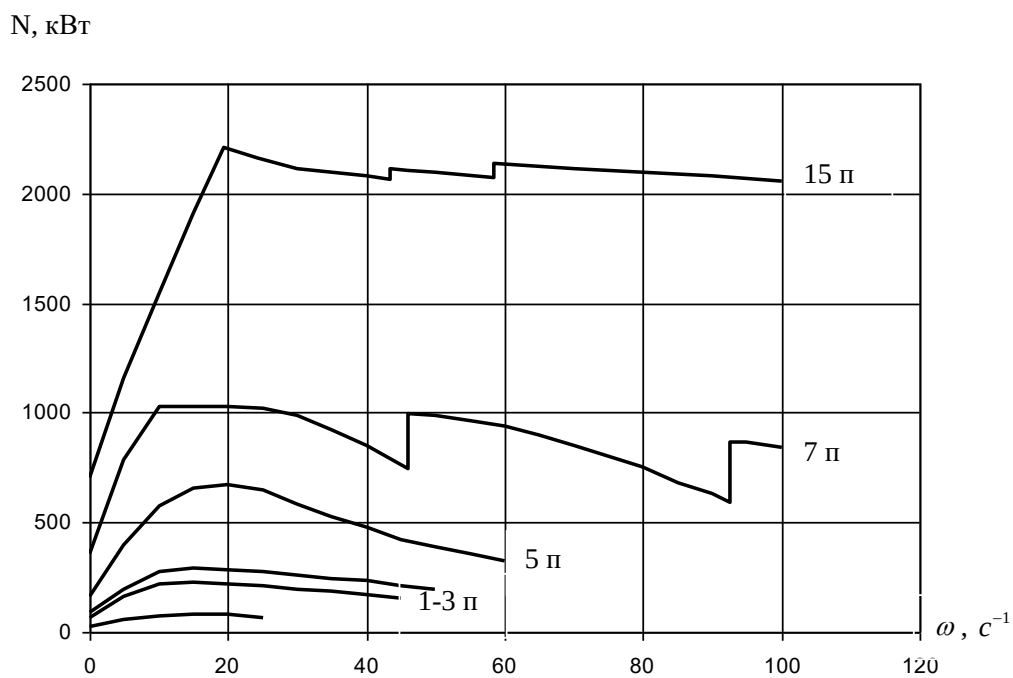


Рисунок 4.3. Потужність по позиціям контролера машиніста

Залежність ККД передачі потужності тепловоза від кутової швидкості колінчатого вала дизеля на рисунку 4.4.

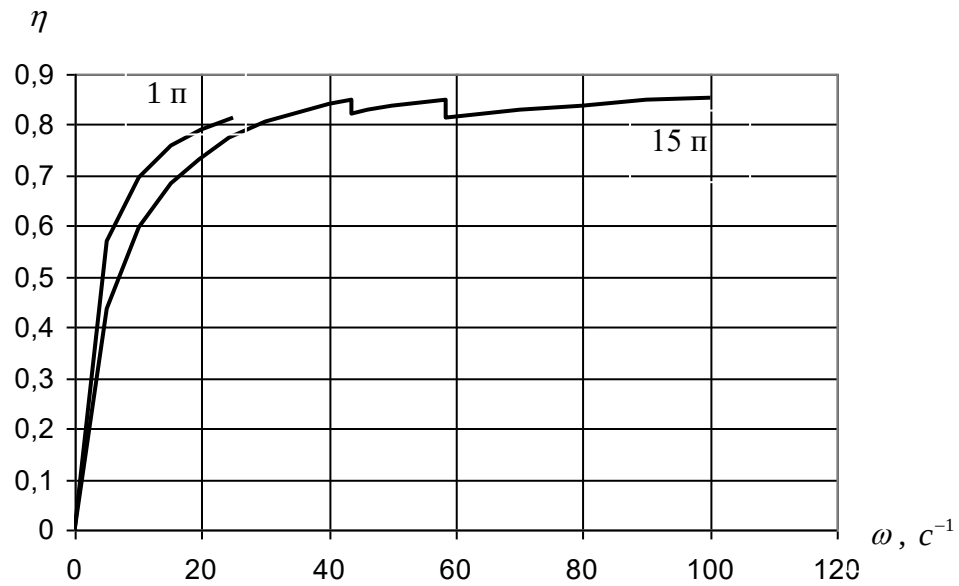


Рисунок 4.4. Залежність ККД передачі потужності тепловоза від кутової швидкості колінчатого вала дизеля

Динамічна модель розрахунку параметрів руху поїзда формується на основі диференціальних рівнянь, що описують залежність параметрів робочих процесів дизеля, отриманих при їх моделювання і параметрів руху поїзда з врахування моделювання параметрів передачі потужності. Рівняння динамічної моделі [74]:

$$\left\{ \begin{array}{l} J \cdot \chi'(t) - a \cdot \chi(t) \cdot m(t) - b \cdot m(t) + C_g \cdot k_\Phi \cdot \chi(t) \cdot \frac{6 \cdot C_g \cdot k_\Phi \cdot \chi(t) \cdot \left(\frac{\pi}{30}\right) \cdot \chi(t)}{C_t \cdot k \cdot \omega(t) + (R_a + 6 \cdot R_g)} = 0 \\ J_p \cdot \omega'(t) - 0,9 \cdot 6 \cdot C_t \cdot k \cdot \left[\frac{C_g \cdot k_\Phi \cdot \chi(t) \cdot \left(\frac{\pi}{30}\right) \cdot \chi(t)}{C_t \cdot k \cdot \omega(t) + (R_a + 6 \cdot R_g)} \right]^2 + \\ \left[\left[(1,9 + 0,008 \cdot 0,427 \cdot \omega(t) + 0,00025 \cdot (\omega(t) \cdot 0,427)^2) \cdot m_l \cdot 9,81 + \right. \right. \\ \left. \left[0,7 + \frac{3 + 0,09 \cdot \omega(t) \cdot 0,427 + 0,002 \cdot (\omega(t) \cdot 0,427)^2}{q} \right] \cdot m_s \cdot 9,81 \right] \cdot k_{fc} = 0 \end{array} \right. \quad (4.11)$$

При використанні розглянутих моделей необхідно використовувати тягові характеристики модернізованих і штатних тепловозів. Тому проведено апроксимацію тягових характеристик тепловозу М62 і модернізованого тепловозу М62М. Результати апроксимації приведено на рисунках 4.5, 4.6.

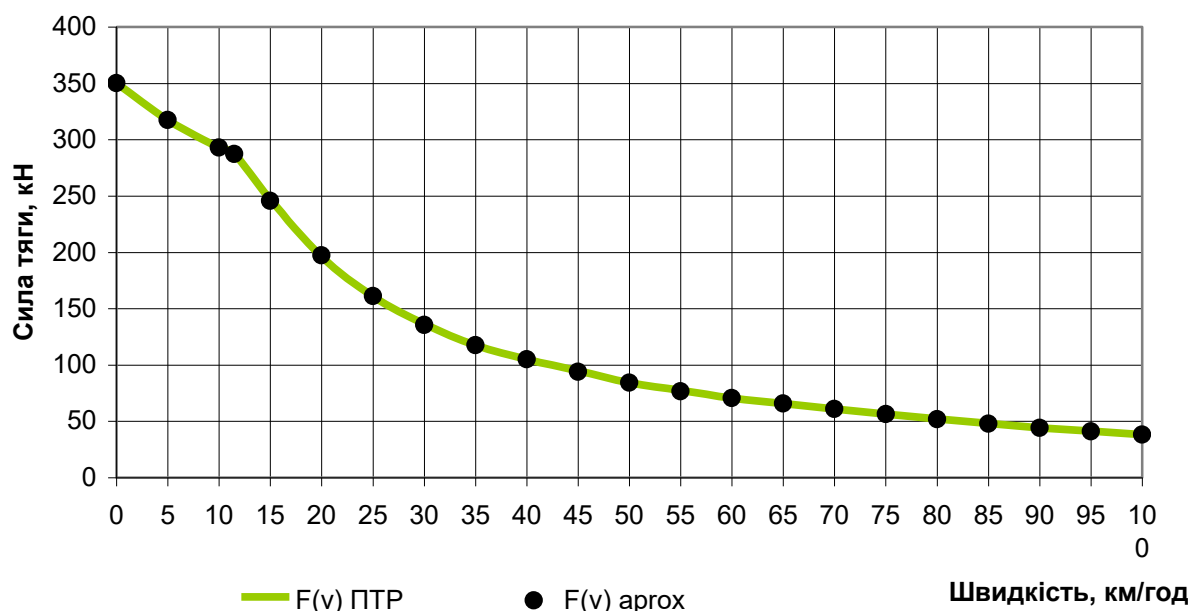


Рисунок 4.5. Тягова характеристика тепловоза М62 (згідно з ПТР та апроксимація)

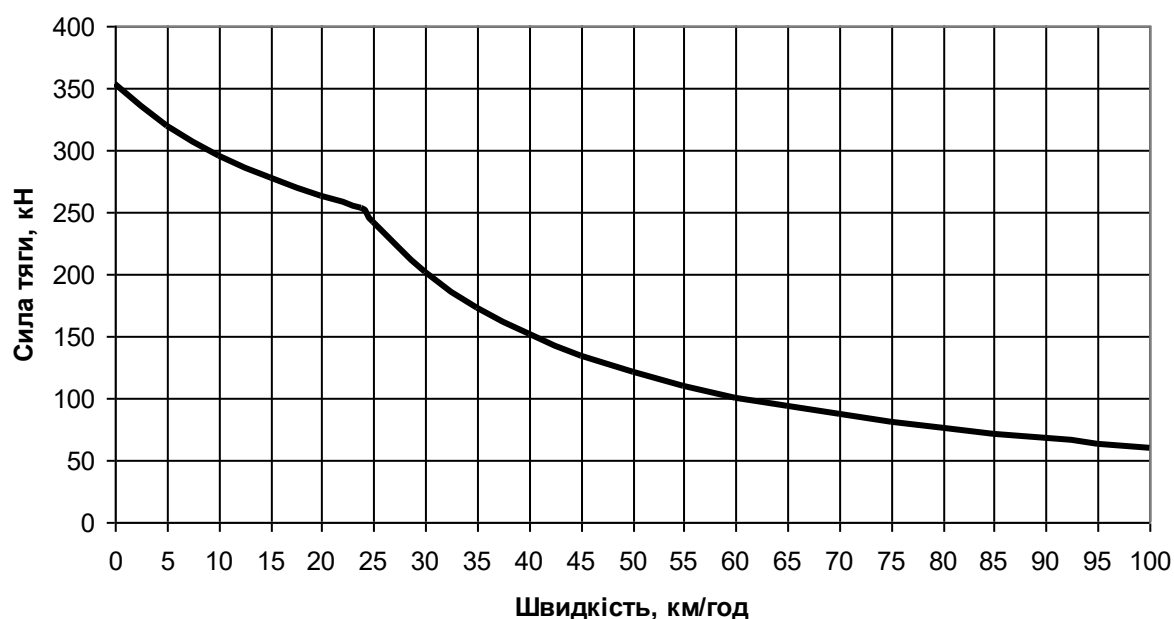


Рисунок 4.6. Тягова характеристика модернізованого тепловозу М62М (розрахована)

Результати апроксимації тягових характеристик представлені у формулах (4.12-4.13).

$$\begin{cases} 0 \leq V \leq 11,5 \text{ км/год}; f(V) = 165,76 \cdot V^2 - 7370,7 \cdot V + 350226 \\ 11,5 < V < 35 \text{ км/год}; f(V) = -2,7872 \cdot V^3 + 415,14 \cdot V^2 - 21636 \cdot V + 486225 \\ 35 \leq V \leq 60 \text{ км/год}; f(V) = 0,0654 \cdot V^3 + 24,525 \cdot V^2 - 4666,3 \cdot V + 248193 \\ 60 < V \leq 100 \text{ км/год}; f(V) = 0,0818 \cdot V^3 - 13,314 \cdot V^2 - 281,45 \cdot V + 117776; \end{cases} \quad (4.12)$$

$$\begin{cases} 0 \leq V \leq 24 \text{ км/год}; f(V) = 0,118 + 5/(27,5 + V) \cdot 120000 \cdot 9,81 \\ 24 < V \leq 100 \text{ км/год}; f(V) = 3,6 \cdot 2238 \cdot 0,75 \cdot 1000/V \end{cases} \quad (4.13)$$

Визначено абсолютну похибку тягової характеристики за формулою:

$$\Delta(V) = |Fa(V) - F(V)|, \quad (4.14)$$

де $Fa(V)$ - апроксимована тягова характеристика тепловоза М62;

$F(V)$ - тягова характеристика тепловоза М62 згідно з ПТР [98].

На основі абсолютної похибки визначається відносна похибка за формулою:

$$\delta(V) = \frac{\Delta(V)}{F(V)} \cdot 100\%. \quad (4.15)$$

На рисунку 4.7 зображено зміну відносних похибок сили тяги від швидкості у побудові тягової характеристики тепловоза М62, з аналізу якого виходить, що максимальна похибка не перевищує 1,2 %.

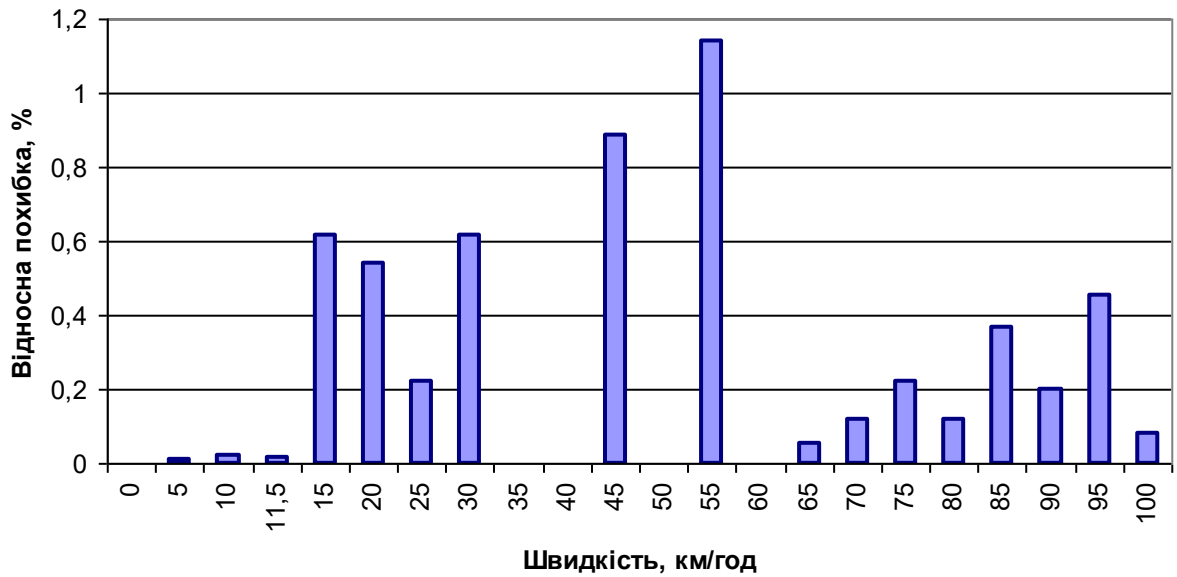


Рисунок 4.7. Діаграма величин відносних похибок в залежності від швидкості

Розроблені моделі визначення основних параметрів модернізованих тепловозів дозволяють використовувати їх при проведенні приймальних випробувань з метою зменшення обсягів натурних експериментів (випробувань). З урахуванням оптимального вибору видів приймальних випробувань це дозволить скоротити витрати на їх проведення при забезпеченні достовірності визначення показників модернізованих тепловозів.

4.2 Розрахунок параметрів руху поїзда з дослідним тепловозом М62М

Для визначення розрахункової маси поїзда із тягових характеристик тепловоза визначають силу тяги відповідну розрахунковій швидкості. Розрахункова швидкість це швидкість тривалого режиму при якій за умовами нагрівання тягових електродвигунів тепловоз може рухатись необмежений час. Розрахунок нагрівання тягових електродвигунів ЕД-118А

модернізованого тепловозу представлений в додатку А, а результати на рисунку 4.8. Він показав, що нагрів до 100 °С буде при тривалому режимі роботи електродвигуна при швидкості тепловоза 18,7 км/год. Згідно з розрахованою тяговою характеристикою (рисунок 4.6) ця швидкість відповідає силі тяги 266 кН.

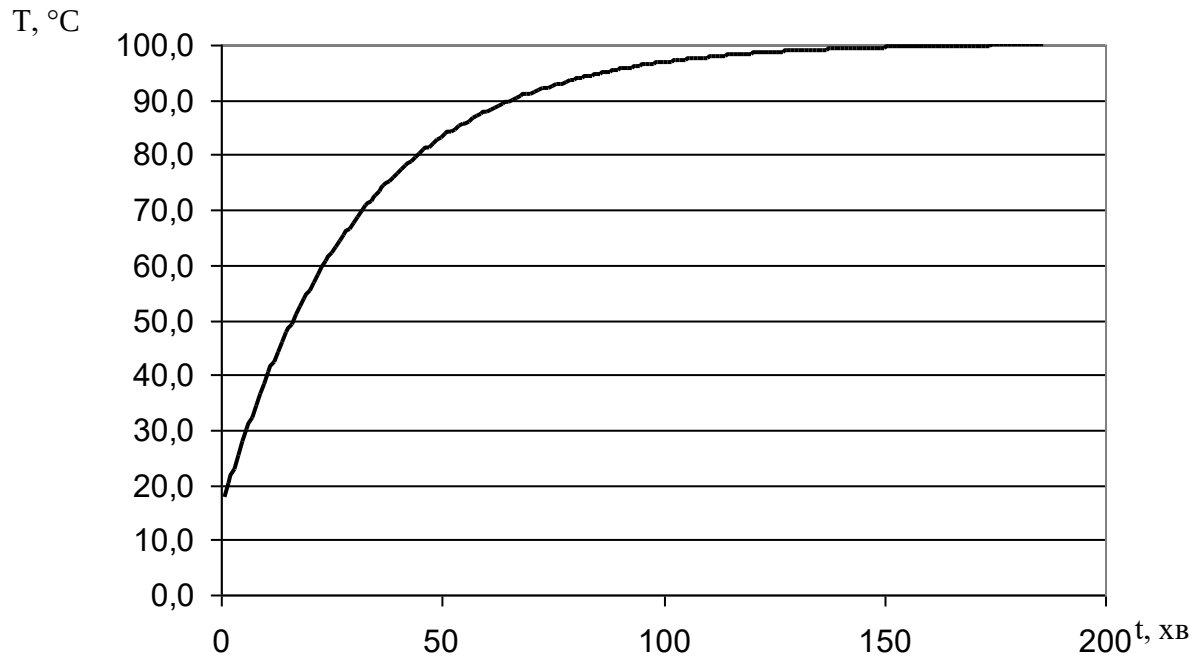


Рисунок 4.8. Розрахунок нагрівання тягового електродвигуна ЕД-118А модернізованого тепловоза

Це дозволяє обслуговувати поїзди вагою 2855 т на ділянці де проводилися випробування модернізованого тепловозу Ковель – Ізов. Для існуючого тепловозу М62 цей показник складає 2065 т. Таким чином, при більшій у 1,52 рази потужності модернізованого тепловозу, він може водити поїзд у 1,38 разів більшої маси.

Оскільки на випробувальній ділянці Ковель – Ізов розрахунковий підйом долається за рахунок накопиченої кінетичної енергії на спуску перед цим підйомом, то для штатного тепловозу нормативна маса поїзда збільшена до 2500 т із врахуванням проміжної зупинки на станції. Тоді для модернізованого тепловозу під час випробувань встановлюється на даній ділянці маса поїзда відповідно 3456 т.

Далі виконуються тягові розрахунки для існуючих тепловозів М62 по запропонованій програмі (додаток Д), по результатам яких отримуються техніко-економічні показники і характеристики, які порівнюються з даними поїздок і перевіряються на адекватність. Після того, проводяться розрахунки для визначення техніко-економічних показників і характеристик модернізованих тепловозів з використанням даних отриманих під час випробувань.

Результати розрахунків в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Результати розрахунків техніко-економічних показників

Параметр	Тепловоз М62		Модернізований тепловоз М62М	
	Дослід	Розрахунок	Дослід	Розрахунок
1. Маса поїзда, т	2428	2416	3424	3420
2. Довжина ділянки, км	72	72	72	72
3. Час слідування по ділянці, хв	111	94	109	94
4. Середньо-технічна швидкість, км/год	41,1	46,0	39,6	46,0
5. Витрата палива, кг	299	271	350	351
6. Питома витрата палива, кг/10 ⁴ ткм бр	17,66	16,3	14,7	14,7

Графіки швидкості, часу ходу по ділянці, питомої рівнодійової сили та позиції потужності для тепловозів М62 та М62М на рисунках 4.9-4.10.

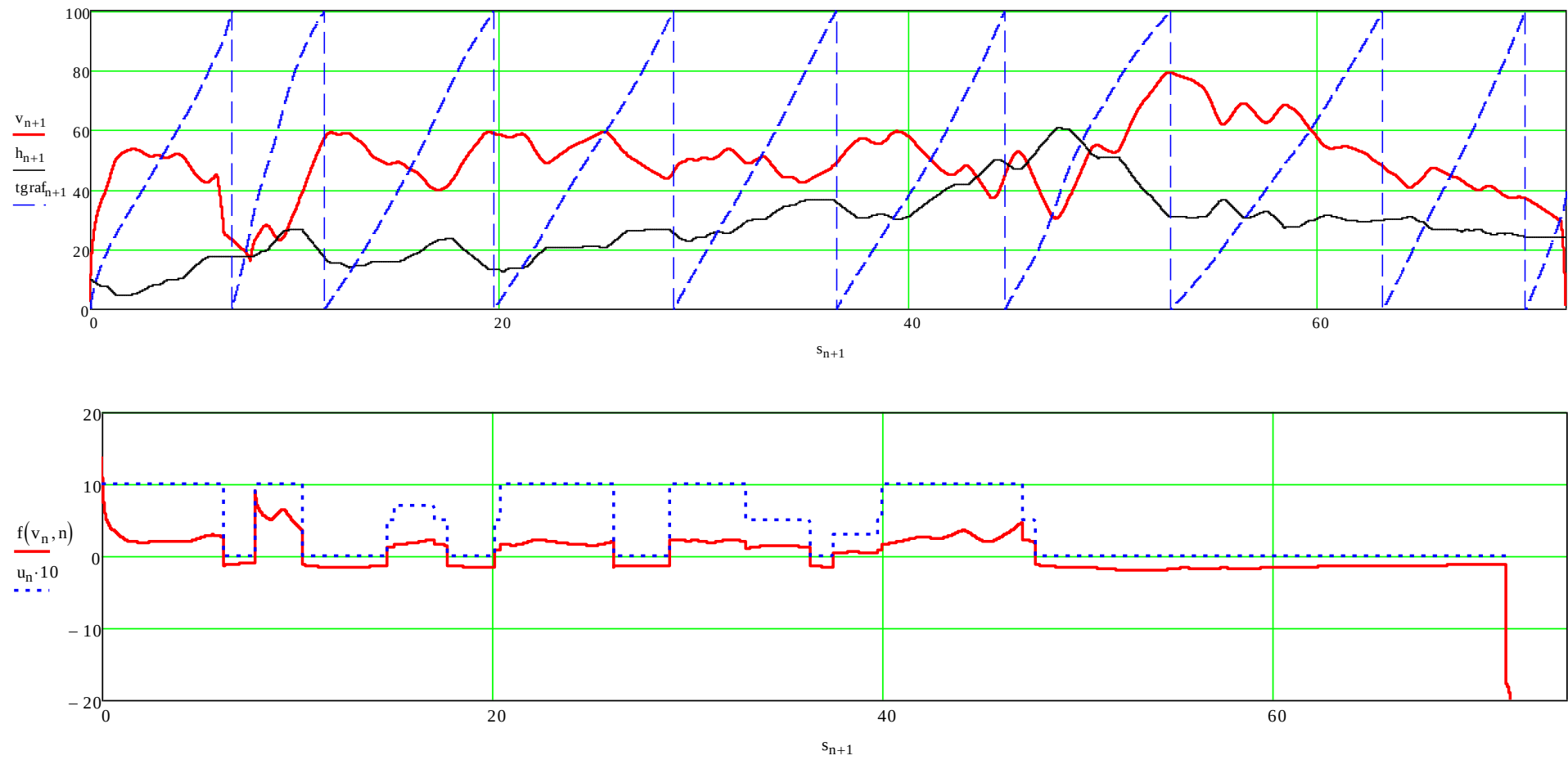


Рисунок 4.9. Графіки параметрів руху поїзда з тепловозом М62

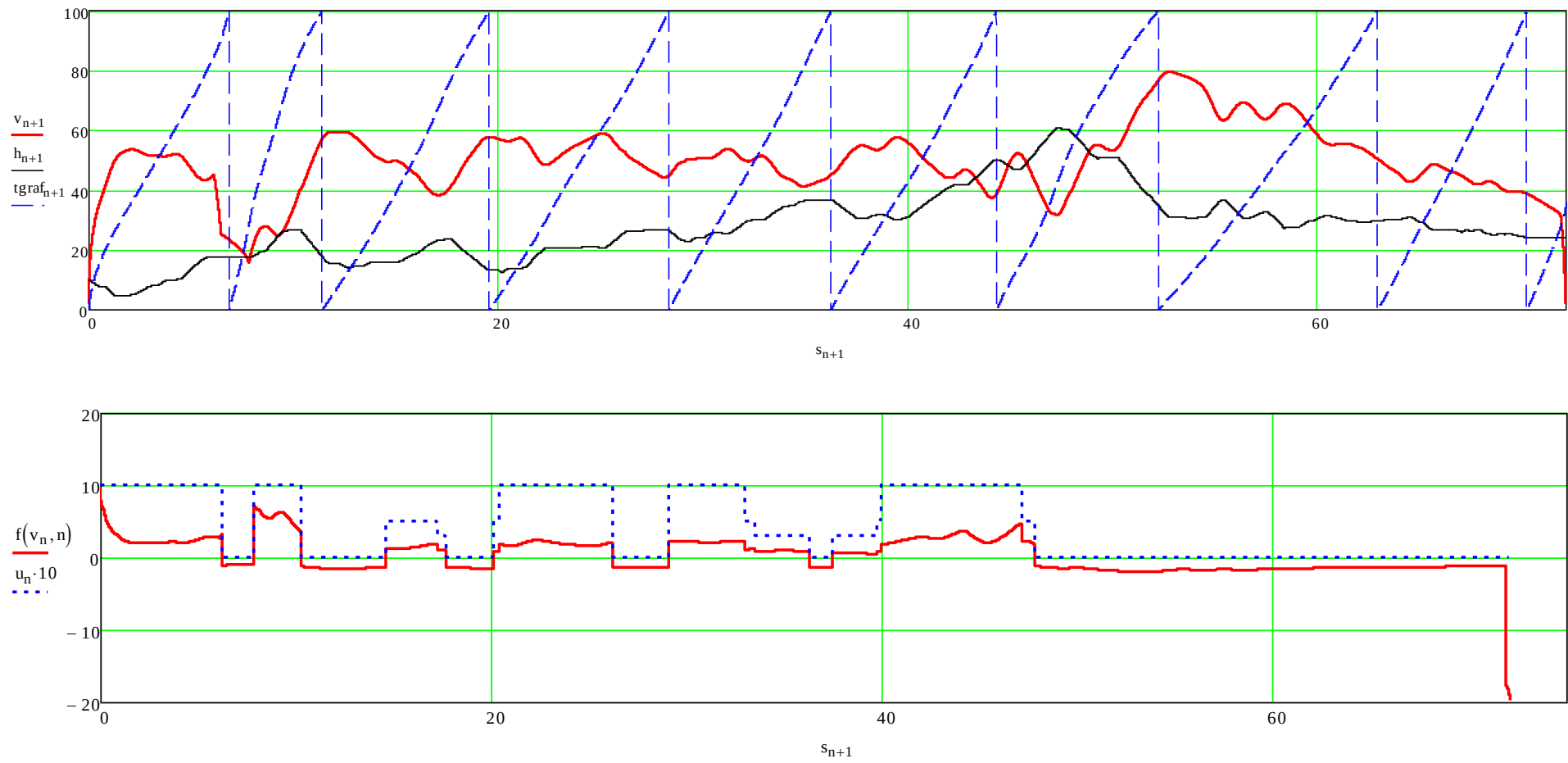


Рисунок 4.10. Графіки параметрів руху поїзда з модернізованим тепловозом М62М

Результати моделювання руху поїзда показують високу точність розрахунків та узгодженість з даними випробувань. Похибка по всім параметрам крім часу руху і відповідно йому середньотехнічній швидкості не перевищує по тепловозу М62: 10 % для абсолютної витрати палива, та 8 % для питомої витрати палива; по тепловозу М62М: 0,5 % для обох відповідних величин. Більша похибка для тепловозу М62 пояснюється тим, що програма моделювання не враховує технічний стан та зношеність існуючих тепловозів. Для значення часу ходу по перегону похибка склала відповідно для тепловозів М62 та М62М 15,3 % та 13,7 %. Це можливо пояснити різницею параметрів інертності мас поїзда та появлення похибки при спрямленні ділянок руху при моделюванні. В цілому ця похибка допустима для таких розрахунків, а для її зменшення необхідно проводити дослідження по подальшому уточненню моделювання руху поїзда.

По отриманій моделі були проведені дослідження по впливу основних параметрів руху поїзда на значення витрати палива. При моделюванні задавалися різні значення маси поїзда при цьому режими руху залишалися однаковими. Встановлено, що величина маси поїзда істотно не впливає на питому витрату палива, рисунок 4.11.

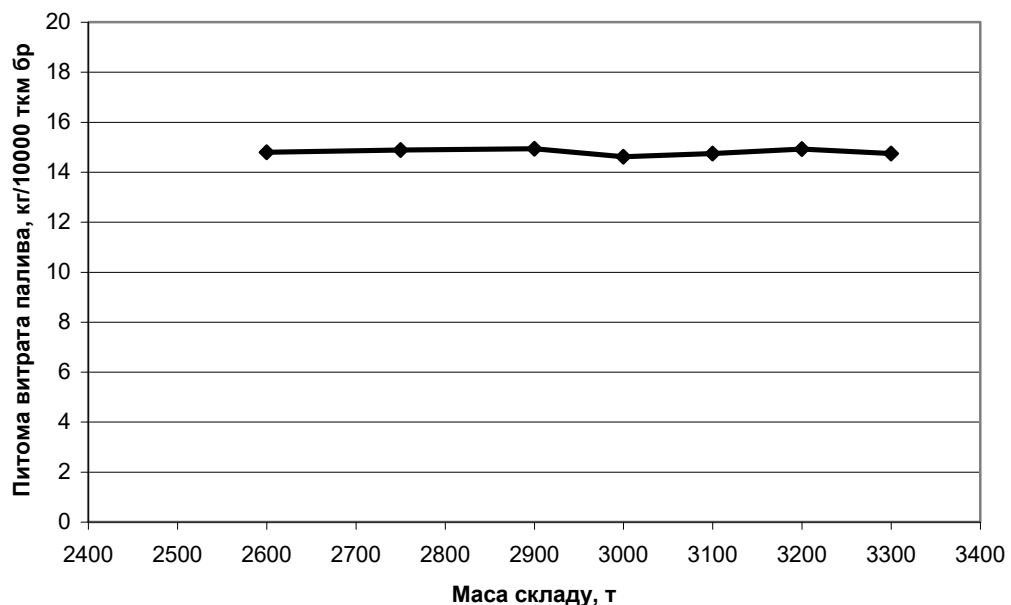


Рисунок 4.11. Залежність питомої витрати палива від маси поїзда

Далі досліджувався вплив середньотехнічної швидкості на питому витрату палива модернізованого тепловоза, при цьому використовувалися різні режими управління потужністю поїзда під час руху на ділянці. Середньотехнічна швидкість має більший вплив на величину питомої витрати палива. При її збільшенні витрати палива збільшуються за рахунок збільшення основного опору руху поїзда. Але найбільш істотний вплив в результаті показала зміна режиму руху поїзда, рисунок 4.12.

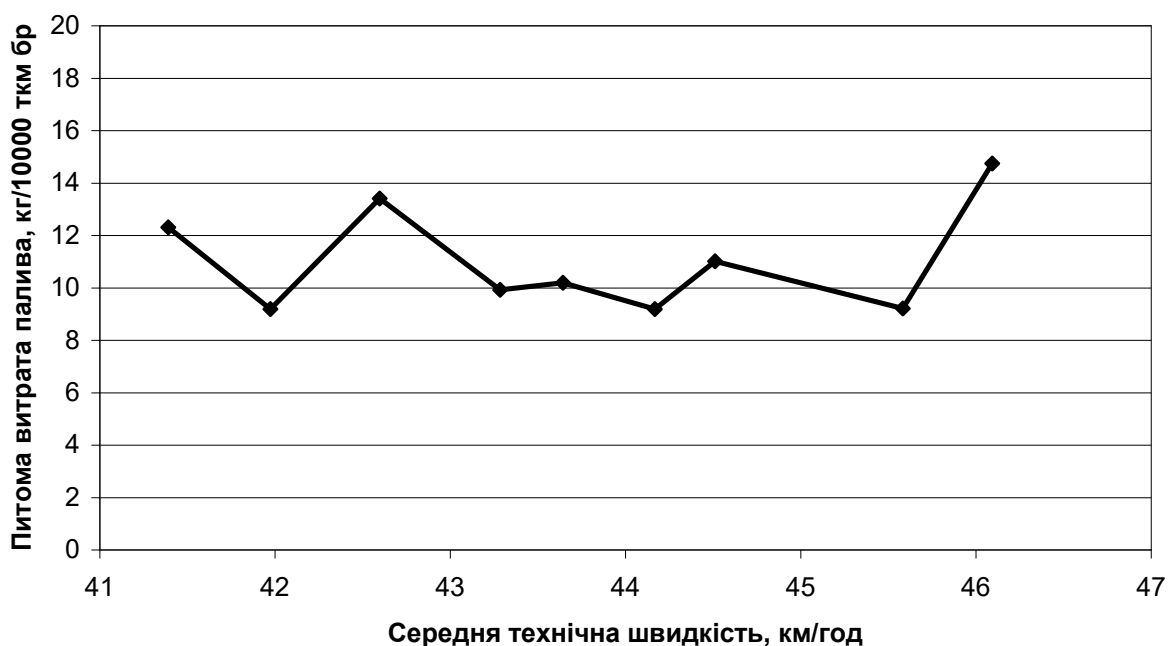


Рисунок 4.12. Залежність питомої витрати палива від середньотехнічної швидкості

Додатково проведено процедуру пошуку режимів управління рухом поїзда які б давали менші значення питомою витрати палива. При цьому в якості обмеження введено мінімально допустиму середньотехнічну швидкість 45 км/год що забезпечить час руху поїзда по ділянці відповідно до графіку руху вантажного поїзда.

В результаті проведеної процедури пошукової оптимізації знайдено режим руху поїзда з модернізованим тепловозом М62М та проведені відповідні тягові розрахунки (рисунок 4.12). Таким чином, отримані наступні

показники руху поїзда. При масі поїзда 3420 т часу ходу по дільниці 94,8 хв, середньотехнічній швидкості 45,6 км/год витрата палива склала 219,3 кг, питома витрата палива 9,2 кг/10⁴ ткм брутто.

Визначені показники роботи модернізованих тепловозів М62 з урахуванням проведених порівняльних експлуатаційних випробувань підтвердили доцільність та ефективність такої модернізації. Під час проведення випробувань показники, заявлені у ТЗ на модернізований тепловоз були перевірені на відповідність і підтвердили його працездатність, економічність та безпеку.

Крім того, під час проведених випробувань були виявлені такі позитивні сторони даного модернізованого тепловоза:

- 1) Високий рівень ергономічності кабіни машиніста та кузова значно покращить умови роботи локомотивних бригад. Відзначений високий рівень шумоізоляції та параметрів мікроклімату у кабіні.
- 2) Суттєво покращені показники динамічного та вібраційного впливу на локомотиві, відсутні зауваження з боку впливу на колію.
- 3) Існує значний резерв по паливній економічності тепловоза за умови використання раціональних режимів управління потужністю.
- 4) Більша в порівнянні з серійним тепловозом середньодобова продуктивність.
- 5) Відсутність димного вихлопу, що значно покращує екологічні показники для даного тепловозу та відповідають вимогам нормативів Європейського союзу.

Однак проведені порівняльні експлуатаційні випробування в якості приймальних не дають встановити дійсні значення показників надійності модернізованого тепловоза М62, тому в для них необхідне проведення експлуатаційних випробувань на надійність. Для цього була розроблена програм-методика проведення експлуатаційних випробувань на надійність приведена у додатку В.

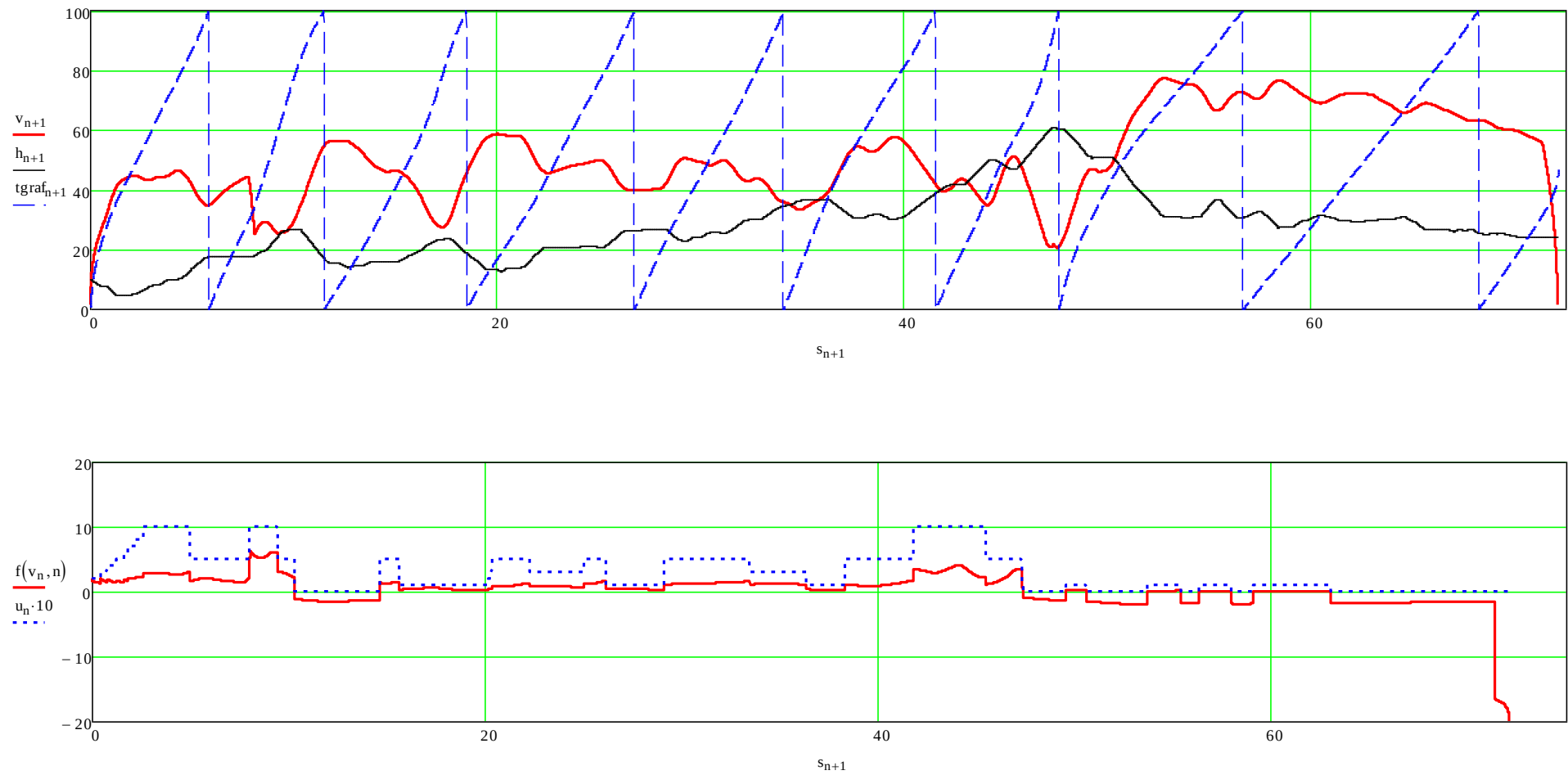


Рисунок 4.13. Графіки параметрів руху поїзда по оптимальному режиму з модернізованим тепловозом М62

4.3 Оцінка економічної ефективності використання удосконалених методів проведення приймальних випробувань та результатів моделювання

Економічну ефективність проведення приймальних випробувань тепловозів оцінено методом прямих витрат. Економічну ефективність від застосування результатів визначення оптимальних режимів руху поїзда, отриманих по розробленим моделям оцінено порівнянням експлуатаційних витрат палива на тягу поїздів.

Таблиця 4.2 – Вартість проведення приймальних випробувань

Найменування випробувань	Вартість, тис. грн.
Випробування по перевірці проходження криволінійних ділянок колії з мінімальними радіусами	25
Випробування гальмівної системи	100
Випробування по визначенню іскрогасіння глушником дизеля	25
Випробування по визначенню рівня механічного впливу на електричне обладнання та апаратуру	50
Статичні, ходові міцнісні та на співудар випробування екіпажної частини	500
Ходові динамічні випробування	500
Випробування електрообладнання	300
Аеродинамічні випробування системи охолодження ТЕД	200
Визначення питомої витрати палива дизеля	150
Випробування функціональності САРТТ	150
Випробування автозчепа	25
Випробування захисту допоміжного електроприводу	50
Випробування незалежної системи аварійного збудження тягового генератора	200
Випробування по визначенню ємкості паливного баку і градуюванні паливимірального щупа	50
Випробування по визначенню запасу піску та ефективності системи піскоподачі	50
Випробування по визначенню маси і розважування тепловозу	100

Продовження табл. 4.2

Випробування по визначенню витрати повітря і аеродинамічного опору системи охолодження тягового агрегату і випрямляча	200
Випробування гальмівного компресора	150
Контроль запасу на відносне переміщення екіпажу	50
Випробування на працездатність довантажуючого пристрою	100
Визначення жорсткості поперечного зв'язку колісної пари з рамою візка	100
Визначення власної частоти згинальних коливань кузова	150
Перевірка габаритних показників зовнішнього окреслення	25
Статичні міцнісні випробування головної рами	400
Стендові випробування колісно-моторного блоку	300
Стендові випробування САРТТ на працездатність	200
Стендові випробування повітроочисника дизеля	150
Теплові і аеродинамічні випробування системи охолодження резисторів ЕДГ	200
Теплотехнічні випробування охолоджуючого пристрою	200
Стендові випробування на витривалість боковин рами візка	250
Кліматичні випробування пристроїв автоматики	100
Випробування по перевірці акустичних характеристик	150
Випробування по оцінці вібрації на робочому місці в кабіні машиніста	100
Випробування по визначенню параметрів мікроклімату (з кондиціонуванням повітря)	100
Випробування по визначенню параметрів мікроклімату (з системою опалення)	100
Випробування по визначенню параметрів штучного освітлення	100
Випробування по визначенню параметрів теплоізоляції кабіни машиніста	150
Випробування по оцінці видимості сигналів буферних ліхтарів	25
Випробування по перевірці працездатності обігріву вікон	25
Випробування по перевірці відповідності конструкції і компоновки обладнання вимогам безпеки, ергономіки та промислової санітарії	100

Продовження табл. 4.1

Випробування по перевірці фокусування і визначенню осьової сили прожектора	50
Випробування склоочисників і системи омивання вікон	25
Контроль наявності страхувальних засобів від падіння деталей механічної частини на колію	25
Визначення вмісту шкідливих речовин у повітрі в кабіні машиніста	150
Оцінка функціональної працездатності приладів безпеки	150
Випробування на пожежну безпеку	100
Випробування по перевірці ударної міцності лобових вікон	150
Випробування по визначення екологічних показників	150
Випробування на електромагнітну сумісність	150

Згідно з таблицями 3.2 та 4.1 визначається економічна ефективність від скорочення витрат на проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів.

$$E^{випр} = \sum_{n=1}^{N_{ui}^{IK}} C_{ui} - \sum_{n=1}^{N_{ui}^{VK}} C_{ui} , \quad (4.16)$$

де $\sum_{n=1}^{N_{ui}^{IK}} C_{ui}$ - вартість проведення випробувань по існуючій концепції,

млн. грн.;

$\sum_{n=1}^{N_{ui}^{VK}} C_{ui}$ - вартість проведення випробувань по запропонованій концепції,

млн. грн.;

$$E^{випр} = 6850 - 4750 = 2100 \text{ тис. грн.}$$

Економія витрат від застосування результатів визначення оптимальних режимів руху поїзда, отриманих по розробленим моделям визначається по формулі:

$$E^{OP} = (G^{IP} - G^{OP}) \cdot \eta_r \cdot 365 \cdot C_{\text{дн}} / \delta_{\text{дн}}, \quad (4.17)$$

де G^{IP} - витрата палива по існуючому режиму управління рухом поїзда з модернізованим тепловозом на дільниці, кг;

G^{OP} - витрата палива по оптимізованому режиму управління рухом поїзда з модернізованим тепловозом на дільниці, кг;

η_r - коефіцієнт готовності модернізованого тепловозу, прийнятий 0,95;

$C_{\text{дн}}$ - вартість дизельного палива, прийнята 19 грн./л.;

$\delta_{\text{дн}}$ - перевідний коефіцієнт кг палива у л, прийнятий 0,853.

Економія склала 37 % по питомій витраті палива або 131,7 кг на поїздку. Тобто резерв по паливній економічності при експлуатації модернізованого тепловоза М62М на даній дільниці складає

$$E^{OP} = (351-219,3) \cdot 0,95 \cdot 365 \cdot 19 / 0,853 = 1017201 \text{ грн.}$$

Сумарна ефективність запропонованих заходів визначається, тис. грн.,

$$E^3 = E^{\text{випр}} + E^{OP}. \quad (4.18)$$

Тоді

$$E^3 = 2100 + 1017 = 3117 \text{ тис. грн.}$$

Таким чином, сумарний економічний ефект від реалізації концепції проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів склав понад 3 млн. грн для однієї серії тепловозу.

4.4 Висновки по розділу 4

1) 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.

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

3) 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.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-практичне завдання удосконалення методів визначення обсягів приймальних випробувань модернізованих тепловозів. Отримано наступні 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 приймальним випробувань тягового рухомого складу в цілому не враховують сучасних конструкцій і технологій виготовлення деталей та вузлів локомотивів та 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) Наукові праці з проведення випробувань тепловозів присвячені проведенню окремих видів випробувань для різного ТРС, при цьому питання визначення видів та обсягів для конкретних серій не розглядаються.

5) Модернізація тепловозів, що проводиться тепер і планується в подальшому потребує науково обґрунтованих рекомендацій і методів по ефективному допуску до експлуатації на основі проведених приймальних випробувань.

6) 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.

7) 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.

8) 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.

9) 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.

10) 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.

11) 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.

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

13) 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Babel, M. Modernizacja spalinowej lokomotywy manewrowej serii SM31 [Text] / M. Babel, B. Szachniewicz // Technika Transportu Szynowego. – 2012. - №4. – P.42-45.
2. Escolan, T. Модернизация тепловозов [Текст] / T. Escolan // Железные дороги мира. – 2005. - №12. – С.53-57.
3. Gouvrit, J.-M. Ремоторизация магистральных тепловозов [Текст] / J.-M. Gouvrit et al. // Железные дороги мира. – 2006. - №5 – С. 43-50.
4. 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.
5. Marciniak, Z. Projekt modernizacji lokomotyw spalinowych serii ST44 [Text] / Z. Marciniak, Z. Durzynski // Technika Transportu Szynowego.- 2005. - №9. – P.13-28.
6. Pernicka, J. Тепловоз М62 – история продолжается [Текст] / J. Pernicka // Железные дороги мира. – 2008. - №12. – С. 51-56.
7. Spiryagin, M. Design and simulation of heavy locomotives and trains [Text] / M. Spiryagin, P. Wolfs, C. Cole, V. Spiryagin, Y.Q. Sun, T. McSweeney // CRC Press Taylor & Francis Group, 2016. – 447 p.
8. Stawecki W. Ekologiczne aspekty modernizacji lokomotyw spalinowych w Polsce [Text] / W. Stawecki, Z. Marciniak, I. Pielecha, J. Pielecha // Prace naukowe politechniki warszawskiej. – 2013. - №98. – P.615-624.
9. Tartakovskiy, E. Refining the models of performing service tests of upgraded locomotives [Text] / E. Tartakovskiy, A. Falendysh, A. Zinkivskiy, S. Mikheev // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. - №2/3(74). – С. 26-31.
10. Басов, Г.Г. Испытания тормозной системы электропоезда

ЭПЛ9Т [Текст] / Найш Н.М., Мищенко К.П., Гундарь В.П., Плотников И.Ю. // 3б. наук. праць. - Луганськ, 2003. - С.167-169.

11. Басов, Г.Г. Динамические ходовые испытания электропоезда ЭПЛ9Т [Текст] / Найш Н.М., Мищенко К.П., Гундарь В.П., Сидоров Н.П. // 3б. наук. праць. - Спеціальний випуск. - Луганськ: СЛУ ім. В.Даля, 2003. - С. 152-158.

12. Басов, Г.Г. Стенд прочностных испытаний рам тележек [Текст] / Найш Н.М., Мищенко К.П., Гундарь В.П., Шинкаренко С.Н. // 3б. наук. праць. - Спеціальний випуск. - Луганськ: СЛУ ім. В.Даля, 2003. - С. 158-160.

13. Басов, О.В. Експлуатаційні порівняльні випробування регуляторів різних типів на тепловозах ЧМЕЗ [Текст] / Іванченко Д.А., Тартаковський Е.Д., Фалендиш А.П. // 3б. наук. праць. - Харків. - УкрДАЗТ, 2008. - Вип. 96. С.151-157.

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

15. Блохин, Е.П. Испытания подвижного состава железных дорог необходимо проводить в полном объеме во всем диапазоне скоростей движения, предусмотренных техническим заданием [Текст] / М.Л. Коротенко // Залізничний транспорт України. – 2009. - №6. – С. 26-28.

16. Блохин, Е.П. О роли натурных испытаний при оценке качества подвижного состава железных дорог [Текст] / М.Л. Коротенко, И.В. Клименко // Вісник СЛУ ім. В. Даля – № 5 (147) – Частина 2 – 2010.

17. Блохин, Е.П. Динамика и прочность рельсового автобуса типа 620М [Текст] / А.Н. Пшинько, Н.И. Сергиенко // Залізничний транспорт України. - 2006. - №3. - С.41-45.

18. Боднар, Б.Е. Приемочные испытания рельсового автобуса 620М [Текст] / Л.Ф. Гагин, О.И. Гилевич // Залізничний транспорт України. - 2007. - №1. - С.50-51.

19. Бондарев О.М., Горобець В.Л., Пилипенко С.В., Сергієнко М.І. Динамічні ходові та міцнісні випробування електровоза ВЛ40У // Залізничний транспорт України. - 2006. - №1. - С.55-60.

20. Быкадыров В.П., Басов Г.Г., Ткаченко А.Н., Ефимова Н.П. Опыт изготовления воздушных резервуаров подвижного состава на ХК "Лугансктепловоз" // Зб. наук. праць. - Спеціальний випуск. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2003. - С. 108-114.

21. Быкадыров В.П., Гедрович А.И., Гальцов И.А., Друзь О.Н., Ткаченко А.Н. Исследование кинетики изменений напряжений и деформаций в тонколистовой металлоконструкции обшивки вагона дизель-поезда после сборки-сварки и после ходовых испытаний // Зб. наук. праць. - Спеціальний випуск. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2003. - С. 104-108.

22. Быкадыров В.П., Гедрович А.И., Гальцов И.А., Ткаченко А.Н. Экспериментальное исследование деформаций модуля боковой стенки вагона дизель-поезда // Зб. наук. праць. - Спеціальний випуск. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2003. - С. 93-98.

23. Власьевский С.В., Панченко А.А. Автоматизированный комплекс для оценки веса и динамического воздействия подвижного состава на верхнее строение пути // Железнодорожный транспорт. - 2007. - №11. - С. 42-45.

24. Голубенко А.Л., Петров А.С., Басов Г.Г., Гундарь В.П. Исследование системы рессорного подвешивания рельсового транспорта // Зб. наук. праць. - Спеціальний випуск. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2003. - С. 62-75.

25. Голубенко А.Л., Петров А.С., Малов В.А., Гундарь В.П., Бурка М.Л., Боженко Я.В. Оценка безопасности движения экипажа железнодорожного транспортного средства против схода с рельсов (при выкатывании гребня на головку рельса) // Зб. наук. праць. - Спеціальний випуск. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2003. - С. 81-85.

26. Голубенко А.Л., Петров А.С., Мищенко К.П., Грищенко С.Г.,

Догadin В.А., Гундарь В.П., Татуревич А.П. Исследования динамики и воздействия на путь прицепного вагона дизель-поеда // 3б. наук. праць. - Спеціальний випуск. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2003. - С. 55-56.

27. Голубенко А.Л., Петров А.С., Мищенко К.П., Гундарь В.П. Теоретические и экспериментальные исследования системы рессорного подвешивания вагона дизель-поезда // 3б. наук. праць. - Спеціальний випуск. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2003. - С. 56-62.

28. Голубенко О.Л. Горбунов М.І., Слащов В.А., Могила В.І. Комплексне розв'язання проблеми покращення тягово-енергетичних показників тягового рухомого складу. Вісник СНУ ім. В. Даля. № 3(145), 2010. с.45-57

29. ГОСТ 10150-88. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Общие технические условия. - М.: Госстандарт СССР, 1988. - 43 с.

30. ГОСТ 10448-80. Дизели судовые тепловозные и промышленные. Правила приемки. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 20 с.

31. ГОСТ 11729-78. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Воздухоочистители. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 7 с.

32. ГОСТ 11928-83. Системы аварийно-предупредительной сигнализации и защиты автоматизированных дизелей и газовых двигателей. Общие технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 12 с.

33. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. - М.: Госстандарт СССР, 1983. - 16 с.

34. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 165 с.

35. ГОСТ 12.1.044-89. Система стандартов безопасности труда.

Пожароопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Госстандарт СССР, 1989. - 113 с.

36. ГОСТ 12.2.056-81 Система стандартов безопасности труда. Электровозы и тепловозы колеи 1520 мм. Требования безопасности. - М.: Госстандарт СССР, 1981. - 48 с.

37. ГОСТ 12.4.026-76. Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные и знаки безопасности. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. – 26 с.

38. ГОСТ 14228-80. Дизели и газовые двигатели автоматизированные. Классификация по объему автоматизации. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 9 с.

39. ГОСТ 15.001-88. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производно-технического назначения.- М.: Госстандарт СССР, 1989. - 10 с.

40. ГОСТ 15.309-98. Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения. - К.: Госстандарт Украины, 2000. - 13 с.

41. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. - М.: Госстандарт СССР, 1969. - 84 с.

42. ГОСТ 16504. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. - М.: Госстандарт СССР, 1981. - 28 с.

43. ГОСТ 17516.1-90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам. - К.: Госстандарт Украины, 2001. - 42 с.

44. ГОСТ 20759-90. Дизели тепловозов. Техническое диагностирование и прогнозирование остаточного ресурса методом спектрального анализа масла. Общие требования. – М.: Издательство

стандартов, 1991. – 27 с.

45. ГОСТ 22339-88. Тепловозы маневровые и промышленные. Типы и основные параметры. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 9 с.

46. ГОСТ 22602-91. Тепловозы магистральные. Типы и основные параметры. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 7 с.

47. ГОСТ 22947-78. Покрытия лакокрасочные тепловозов магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 15 с.

48. ГОСТ 24028-80. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерения. - М.: Госстандарт СССР, 1984. - 10 с.

49. ГОСТ 25463-2001. Тепловозы магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 13 с.

50. ГОСТ 2582-81. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 37 с.

51. ГОСТ 31187-2003 Тепловозы магистральные. Общие технические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 13 с.

52. ГОСТ 4.352-85. Система показателей качества продукции. Тепловозы. Номенклатура показателей. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 19с.

53. ГОСТ 4.367-85. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Номенклатура показателей. - М.: Госстандарт СССР, 1985. - 9 с.

54. ГОСТ 9219-88. Аппараты электрические тяговые. Общие технические требования. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 37 с.

55. ГОСТ 9238-83. Габариты приближения строений и подвижного состава железных дорог колеи 1520 (1524) мм. - М.: Госстандарт СССР, 1983. - 48 с.

56. ГОСТ ISO 14396:2002. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Определение и метод измерения мощности двигателя. Дополнительные требования при измерении выбросов продуктов сгорания согласно ISO 8178. – М.: Стандартиформ, 2016. – 10 с.

57. Грищенко С.Г. Випробування та допуск до експлуатації нового залізничного рухомого складу і того, що модернізується // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2009. - № 4. – Частина 2. – С. 114-118.

58. ГСТУ 32.0.08.001-97. Порядок розроблення та постановлення продукції на виробництво для потреб залізничного транспорту в системі Міністерства транспорту України. К.: ІПС 12-99, 1999. - 35 с.

59. Гусаков В.И., Савин А.В. Современные методы и средства испытания элементов инфраструктуры и подвижного состава // Железнодорожный транспорт. - 2008. - №4. - С. 69-71.

60. Довганюк С.С., Дьомін Ю.В., Самсонкін В.М., Гончаров О.М., Січкарь А.В. Про створення центрального випробувального полігона залізничного транспорту // Залізничний транспорт України. - 2004. - № 6. - С. 42-45.

61. ДСТУ 3021. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. – Київ: Держстандарт України, 1995. – 71 с.

62. ДСТУ 3868-99. Топливо дизельное. Технические условия. – Киев: ГОССТАНДАРТ-УКРАИНЫ, 1993. – 12 с.

63. ДСТУ 3974-2000. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання дослідно-конструкторських робіт. - Київ: Держстандарт України, 1995. – 38 с.

64. Дьомін, Ю.В. Удосконалення системи допуску рухомого складу до експлуатації [Текст] / Ю.В. Дьомін // Залізничний транспорт України. – 2013. - №2. – С.5-8.

65. Жалкін, Д.С. Вибір енергетичної установки для модернізації тепловоза М62 [Текст] / Д.С. Жалкін, Є.В. Борщ // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2013. - №135. – С.235-238.

66. 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: збірник тез МНП конф., 11-17 квітня 2016 р., м. Трускавець (Україна). – Сєверодонецьк, 2016.

67. Зінківський, А.М. Удосконалення методів та моделей проведення експлуатаційних випробувань модернізованих тепловозів [Текст]: автореф. дис. ...канд. тех. наук: 05.22.07 / Зінківський Артем Миколайович. – К., 2013. – 20 с.

68. Иванов, В.С. Метрологическое обеспечение производства и испытаний газотурбинных двигателей летательных аппаратов. Средства и методы измерения [Текст]: учебное пособие / В.С. Иванов. – М.: Изд-во МАИ, 2002. – 92 с.

69. Иванченко, Д.А. Оптимизация объема приемочных испытаний тягового подвижного состава железных дорог [Текст] / Д.А. Иванченко, А.В. Камчатный // Локомотивы. XXI век: сборник материалов 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.

70. Испытания и обеспечение надежности авиационных двигателей и энергетических установок [Текст]: учебник для вузов / Е.Ю. Марчуков [и др.]; под ред. И.И. Онищика. – М. Изд-во МАИ, 2004. – 336 с.

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

72. Іванченко, Д.А. Критерії оцінки результатів випробувань тягового рухомого складу залізниць [Текст] / Д.А. Іванченко // Інноваційні технології на залізничному транспорті: збірник наукових праць конф., 23-25

вересня 2010 р., м. Красний Лиман. – Луганськ: СЛУ ім. В. Даля, 2010.

73. 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.

74. 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 №4 (193), – Луганськ: СЛУ ім. Володимира Даля, 2013. – С. 83-85.

75. 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.

76. 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: збірник тез V МНП конф., 31 березня – 7 квітня 2014 р., Лондон (Англія). – Луганськ: СЛУ ім. Володимира Даля, 2014.

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

78. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки. Затверджена наказом міністра транспорту та зв'язку України за № 1259 від 14.10.2008

79. Коротенко, М.Л. Особенности приемки подвижного состава зарубежного изготовления в части вписывания в габарит по ГОСТ 9238-83 [Текст] / М.Л. Коротенко, Н.Я. Гаркави // Вісник ДНУЗТ. – Д.: Вид-во

Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Вип. 23. – 2008. – С. 38-40.

80. Коссов В.С., Грек В.И, Оганьян Э.С., Красиков Н.Ф. Роль науки в повышении качества подвижного состава // Железнодорожный транспорт. - 2007. - №10. - С. 44-45.

81. Коссов Е.Е. и др. Тепловоз ТЄРА1: результаты тяговых и теплотехнических испытаний // Локомотив. - 2008. - №12. - С. 29-31.

82. Коссов Е.Е., Аникеев И.П., Азаренко В.А., Молчанов А.В. Тепловоз 2ТЭ70-001: результаты испытаний // Локомотив. - 2006. - №8. - С. 32-34.

83. 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 №5 (123) Ч.1, – Луганськ: СЛУ ім. Володимира Даля, 2008. – С. 201-204.

84. Кумайгородская, Н. Тепловозу продлили жизнь [Электронный ресурс]: статьи: акцент / Н.Кумайгородская // «Магистраль» - всеукр. транспорт. газ. – 2013. – 19-25 жовт. (№79). – Режим доступа: <http://magistral-uz.com.ua>. – (Дата обращения 21.01.2014).

85. Ломоносов, Ю. Тепловоз Ю^Э № 001 и его испытание в Германии [Текст]: Ю. Ломоносов / Берлин, 1925. - 235 с.

86. Малов В.А., Притыкин И.Д. К определению времени эвакуации пассажиров из вагонов пригородного сообщения дизель- и электропоездов // 36. наук. праць. - Спеціальний випуск. - Луганськ: СЛУ ім. В.Даля, 2003. - С. 164-167.

87. Матяш, В. О. Метод визначення обсягів випробувань тягового рухомого складу на основі бази технічних рішень [Текст] / В. О. Матяш, Д.А. Иванченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2014. – №3. – С. 86-89.

88. Методика оценки остаточного ресурса несущих конструкций

тягового подвижного состава [Текст]. – К.: Гос. администрация ж.-д. трансп. Украины, ДИИТ, 1998. – 51 с.

89. Методичні вказівки з підготовки і проведення приймальних випробувань тягового рухомого складу та його складових, ЦТ-0112.- К.: Укрзалізниця, 2005.- 80 с.

90. Механическая часть тягового подвижного состава [Текст]: учебник для вузов ж.-д. транспорта / И.В. Бирюков [и др.]; под ред. И.В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.

91. Мищенко К.П., Найш Н.М., Гундарь В.П., Недзельский Е.А. О результатах испытаний систем отопления пассажирских салонов вагонов дизель- и электропоездов производства холдинговой компании "Луганстепловоз" // 3б. наук. праць. - Спеціальний випуск. - Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2003. - С. 162-164.

92. Могила В.И., Ноженко Е.С., Ноженко В.С., Горбунов Н.Н. Анализ энергетических резервов локомотива. XVIII научно-техническая конференция с международным участием на тему «Транспорт, экология – устойчивое развитие», (10 – 12 мая Болгарія) Вид-во Варна 2012. – с. 383-389.

93. Назаров Л.С., Зозулев А.К. Тепловоз ЧМЭЗП-1588: результаты опытной эксплуатации // Локомотив. - 2002. - №2. - С. 26-27.

94. Найш Н.М., Соколов И.А., Дробышевский Е.К. О требованиях к измерительным системам для испытаний рельсового подвижного состава // 3б. наук. праць. - Луганськ, 2003. - С.160-162.

95. Норми оснащення об'єктів і рухомого складу залізничного транспорту пожежною технікою та інвентарем. – Київ: Пожінформтехніка, 2002. – 116 с.

96. Панферов В.И. Творческое содружество ученых, конструкторов и испытателей // Локомотив. - 2002. - №8. - С. 2-4.

97. Показники динаміки та тягово-енергетичні показники електровоза ВЛ40^у [Текст] / С.В. Пилипенко [та інші] // Наука і прогрес

транспорт. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2008. - № 21. – С. 16-25.

98. Правила тяговых расчетов для поездной работы. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.

99. Про затвердження Програми оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012-2016 роки [Текст]: постанова Кабінету Міністрів України від 01.08.2011 р. № 840 // Урядовий кур'єр. – 2011.- 26 серп. - № 155.

100. Рендлер, К. Внедрение комплексной модернизации на тепловозах 2ТЄ116 Укрзалізнички на основании опыта Немецкой железной дороги [Текст] / К. Рендлер, Н. Торальф, А. Рудаков // Локомотив-информ. – 2010. - №6. – С.49-62.

101. Ромен Ю.С., Тихов М.С. Объем информации для установления допустимых скоростей движения по результатам комплексных испытаний Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты. Сборник научных статей. СПб.: ПГУПС, 2007. С. 87-94.

102. Рудая, К.И. Тепловозы. Электрическое оборудование и схемы. Устройство и ремонт [Текст]: учебник / К.И. Рудая, Е.Ю. Логинова. – М.: Транспорт, 1991. – 303 с.

103. Рухомий склад залізниць. Габарити рухомого складу. Методи визначення габаритних розмірів. СОУ МПП 45.060-252:2008 [Текст]. – 124 с.

104. Стенд для визначення пружнодисипативних характеристик силових зв'язків кузова з візком залізничного транспортного засобу [Електронний ресурс]: База патентів України. – Режим доступу: <http://uapatents.com>. – (Дата звернення 01.07.2016).

105. Стенд для дослідження кінематичних і силових характеристик зв'язку колісної пари з рамою візка залізничного транспортного засобу [Електронний ресурс]: База патентів України. – Режим доступу: <http://uapatents.com>. – (Дата звернення 01.07.2016).

106. Стрекопытов, В.В. Электрические передачи локомотивов [Текст]: учебник / В.В. Стрекопытов, А.В. Грищенко, В.А. Кручек. – М.: Маршрут, 2003. – 310 с.

107. СТССФЖТ ЦТ 15-98 Тяговый подвижной состав. Типовая методика динамико-прочностных испытаний. М.: Введен 15.02.99.

108. 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», 2008, - Ялта. – С. 5.

109. Тартаковский, Е.Д. Фалендиш А.П., Агулов А.Ф., Иванченко Д.А., Бондаренко Є.В. Використання на тепловозах електронних регуляторів дизелів [Текст] / Е.Д. Тартаковский, А.П. Фалендиш, Д.А. Иванченко // Двигатели внутреннего сгорания. - 2008. - №1. - 137-141.

110. Тартаковский, Е.Д. Визначення ефективності модернізації тепловозів М62 за результатами порівняльних експлуатаційних випробувань [Текст] / Е.Д. Тартаковский, А.П.Фалендиш, А.М.Зінківський, О.П.Петренко, А.В. Дашковський // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2011. - №4(158). – Ч.2 – С.96-100.

111. Тартаковский, Е.Д. Використання електронних регуляторів на тепловозах залізниць України [Текст] / Е.Д. Тартаковский, А.П. Фалендиш, О.В. Басов, Д.А. Иванченко, Е.В. Бондаренко // Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології, - Київ: ДЕТУТ, 2008. – Матеріали IV НПК, серія «Техніка, технологія». – С. 107-108.

112. Тартаковский, Е.Д. Використання на тепловозах електронних регуляторів дизелів [Текст] / Е.Д. Тартаковский, А.П. Фалендиш, А.Ф. Агулов, Д.А. Иванченко, Е.В. Бондаренко // Двигатели внутреннего сгорания 1, - Харьков: 2008. – 137-140.

113. 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.

114. Тартаковський, Е.Д. Розроблення процедури модернізації магістральних тепловозів новими силовими установками [Текст] / Е.Д. Тартаковський, С.О. Міхєєв // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2013. - №139. – С.40-42.

115. Труханов В.М. Надежность технических систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытания опытных образцов. – М.: Машиностроение, 2003. – 320 с.

116. Фалендиш, А.П. Аналіз варіантів модернізації тепловозів серії ЧМЕЗ [Текст] / А.П. Фалендиш, А.Л. Сумцов, О.В. Клименко // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – 2013. - №36. – С. 162-168.

117. 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.

118. 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 (електронне видання) – 2008. - №1Е.: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Vsunud/2008-1E/08faptvt.htm>

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

120. 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.

121. 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 // Проблеми механіки залізничного транспорту, - Днепропетровск: ДНУЖТ, 2008. – XII Международная конференция. Тезисы докладов. – С. 163.

122. 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. - Київ, 2015. - Вип. 26-27. - С. 118-124.

123. 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.

124. Шестков, В.Н. Влияние основных параметров экипажной части грузовых локомотивов на уровень силовой нагруженности пути [Текст] / В.Н. Шестков // Вестник ВНИИЖТ. - 2005. - №3. - С. 40-43.

125. Электрические машины и электрооборудование тепловозов [Текст]: учебник / Е.Я. Гаккель [и др.]; под. ред. Е.Я. Гаккель. – М.: Транспорт, 1981. – 256 с.

ДОДАТОК А

Список параметрів тепловозів

Параметр	Група
Витрата палива на холостому ході, кг/ч	дизель
Допустима різниця температури відпрацьованих газів між циліндрами, °С	дизель
Максимальна температура випускних газів при повній потужності дизеля за випускними клапанами, К	дизель
Максимальна температура випускних газів при повній потужності дизеля за турбокомпресором, К	дизель
Максимальна температура випускних газів при повній потужності дизеля перед турбокомпресором, К	дизель
Максимальна температура відпрацьованих газів на вході у випускні колектори, °С	дизель
Максимальний тиск сгоряння при повній потужності, МПа	дизель
Нерівномірність максимального тиску сгоряння по циліндрам при стендових випробуваннях, МПа	дизель
Питома витрата палива при номінальній потужності, г/кВтгод	дизель
Прискорювальна здатність, кВт/с	дизель
Середньооефективний тиск на поршень, МПа	дизель
Тиск стиснення, МПа	дизель
Час виходу дизеля з режиму холостого ходу на режим повної потужності, с	дизель
Діаметр циліндра, мм	дизельК
Об'єм води в дизелі, л	дизельК
Об'єм циліндрів, л	дизельК
Середня швидкість поршня, м/с	дизельК
Ступінь стиснення	дизельК
Температура запуску дизеля мінімальна, °С	дизельК
Хід поршня, мм	дизельК
Частота обертання колінчастого вала гранична, об/хв	дизельК
Частота обертання колінчастого вала мінімальна, об/хв	дизельК
Частота обертання колінчастого вала номінальна, об/хв	дизельК
Частота обертання колінчастого вала при запуску, об/хв	дизельК
Число циліндрів	дизельК
Вироблено, одиниць	довідка
Рік початку випуску	довідка
Вісьова формула	екіпаж
Власна частота згинальних коливань кузова у	екіпаж

вертикальній площині, Гц	
Діаметр колес за колом кочення, мм	екіпаж
Енергоємність поглинаючих апаратів вантажних, кДж	екіпаж
Енергоємність поглинаючих апаратів пасажирських, кДж	екіпаж
К.к.д. тягової зубчастої передачі	екіпаж
Мінімальний радіус кривих, м	екіпаж
Навантаження розподілене на лобову частину кузова (при аварії), кН	екіпаж
Навантаження розподілене на лобову частину кузова, кН	екіпаж
Передаточне відношення тягової зубчастої передачі	екіпаж
Поздовжні сили стиснення та розтягування вантажних поїздів для консольних частин, кН	екіпаж
Поздовжні сили стиснення та розтягування вантажних поїздів, кН	екіпаж
Поздовжні сили стиснення та розтягування пасажирських поїздів, кН	екіпаж
Прискорення що впливає на кріплення силових і допоміжних агрегатів, g	екіпаж
Пристосованість до підняття надвізкової будови домкратом і краном	екіпаж
Ресурс бандажів КП при наявності кривих до 50%, млн. км	екіпаж
Статичний прогин ресорного підвішування вантаж, мм	екіпаж
Статичний прогин ресорного підвішування пасс, мм	екіпаж
Ємність десятигодинного розряду, Агод	електрооблад
Кількість елементів акумулятора	електрооблад
Напруга допоміжного генератора, В	електрооблад
Напруга збуджувача, В	електрооблад
Напруга ланцюгів управління, В	електрооблад
Рівень механічного впливу на електрообладнання	електрооблад
Стійкість до кліматичних факторів зовнішнього середовища, °С	електрооблад
Струм допоміжного генератора, А	електрооблад
Струм збуджувача, А	електрооблад
Температура навколишнього середовища робоча (для кабелів), °С	електрооблад
Висота автозчепа, мм	МГХ
Висота від головки рейок до антени, мм	МГХ
Відстань між шкворнями, мм	МГХ
Габарит	МГХ
Довжина по осям автозчепів, мм	МГХ
Запас води, л	МГХ

Запас мастила, кг	МГХ
Запас палива, кг	МГХ
Запас піску, кг	МГХ
Кліренс, мм	МГХ
Колісна база візка, мм	МГХ
Маса дизель-генератора, кг	МГХ
Маса ТЕД, кг	МГХ
Повна база, мм	МГХ
Розрахункове навантаження від колісної пари на рейки, кН	МГХ
Службова маса, т	МГХ
Статичне навантаження від колісної пари на рейки, тс	МГХ
Ширина колії, мм	МГХ
Ширина кузова, мм	МГХ
К.к.д. ТЕД, %	передача
К.к.д. тягового генератора, %	передача
Конструкційна постійна ТЕД	передача
Крутний момент ТЕД, Нм	передача
Магнітний потік збудження ТЕД, Вб	передача
Напруга генератора, В	передача
Напруга ТЕД, В	передача
Опір обмоток ТЕД, Ом	передача
Ослаблення поля ТЕД, %	передача
Перевищення потужності під час переходу, %	передача
Потужність втрат ТЕД, кВт	передача
Потужність допоміжного генератора, кВт	передача
Потужність збуджувача, кВт	передача
Потужність ТЕД, кВт	передача
Потужність тягового генератора, кВт	передача
Сила струму тривалого режиму ТЕД, А	передача
Струм генератора, А	передача
Частота обертання максимальна ТЕД, об/хв	передача
Частота обертання тривалого режиму ТЕД, об/хв	передача
Число полюсів генератора (гол/дод)	передача
Швидкість обертання вала ТЕД, с-1	передача
Аеродинамічний опір повітроочисника дизеля, Па	сист возд
Допустима температура відпрацьованих газів перед турбонагнітачем, °С	сист возд
Допустима тривала частота обертання ротора, об/хв	сист возд
Подача повітря при повній потужності, кг/с	сист возд
Подача турбонагнітача, м3/с	сист возд
Ступінь очищення наддувочного повітря повітроочисником, %	сист возд

Тиск наддувочного повітря, МПа	сист возд
Частота обертання ротора турбонагнітача найбільша, об/хв	сист возд
Довжина гальмівного шляху, м	сист гальм
Крутість схилу, на якому утримує стоянкове гальмо, ‰	сист гальм
Об'єм головних резервуарів, л	сист гальм
Точка роси для системи осушення стисненого повітря, °С	сист гальм
Число головних повітряних резервуарів	сист гальм
Діаметр вентиляторного колеса холодильника дизеля, мм	сист охолодж д
Охолоджуюча поверхня трубок теплообмінника, м ²	сист охолодж д
Подача водяного насоса допоміжного контуру, л/ч	сист охолодж д
Подача водяного насоса основного контуру, м ³ /ч	сист охолодж д
Потужність вентилятора холодильника дизеля, кВт	сист охолодж д
Температура води допоміжного контуру тах, °С	сист охолодж д
Температура води допоміжного контуру рекомендована, °С	сист охолодж д
Температура води основного контуру тах, °С	сист охолодж д
Температура води основного контуру рекомендована, °С	сист охолодж д
Температура охол. рідини на виході дизеля рекомендована, °С	сист охолодж д
Температура охол. рідини на виході дизеля максимальна, °С	сист охолодж д
Температура охол. рідини на вході дизеля, °С	сист охолодж д
Тепловіддача охолоджувача мастила, кДж/год	сист охолодж д
Тиск за насосом в основному контурі, МПа	сист охолодж д
Тиск за насосом у допоміжному контурі, МПа	сист охолодж д
Частота обертання вентиляторного колеса холодильника максимальна	сист охолодж д
Число контурів в системі охолодження	сист охолодж д
Коефіцієнт очищення вологи від пилу і бруду для ТЕМ, %	сист охолодж ел
Подача паливopідпомповного насоса, л/год	сист паливна
Розмір відсіяних забруднень при фільтрації палива, мкм	сист паливна
Тиск впорскування палива, МПа	сист паливна
Тиск палива у колекторі, МПа	сист паливна
Питома витрата мастила, г/кВтгод	сист смаз
Подача головного масляного насоса, м ³ /год	сист смаз
Подача маслопрокочуючого насосу, л/год	сист смаз
Подача центробіжного маслоочисника, м ³ /год	сист смаз
Розмір відсіяних забруднень при фільтрації мастила, мкм	сист смаз
Температура мастила максимальна, °С	сист смаз
Температура мастила рекомендована, °С	сист смаз
Термін служби мастила, год	сист смаз
Тиск мастила в колекторах, МПа	сист смаз

Тиск мастила при мінімальній частоті обертання кол. вала найменше, МПа	сист смаз
Вартість життєвого циклу, млн. грн	тепловоз
Витрата металу на одиницю дотичної потужності годинного режиму, кг/кВт	тепловоз
Допустима висота експлуатації над рівнем моря, м	тепловоз
К.к.д. номінальний	тепловоз
К.к.д. номінальний	тепловоз
Коефіцієнт використання зчіпної ваги	тепловоз
Коефіцієнт використання зчіпної ваги	тепловоз
Коефіцієнт відносної жорсткості тягової характеристики	тепловоз
Коефіцієнт корисного використання потужності номінальний	тепловоз
Коефіцієнт корисного використання потужності номінальний	тепловоз
Коефіцієнт тяги при рушанні	тепловоз
Конструкційна швидкість, км/год	тепловоз
Номінальна потужність, кВт	тепловоз
Повна потужність на вихідних зажимах дизель-генератора (реостатний режим), кВт	тепловоз
Потужність (по дизелю), кВт	тепловоз
Потужність годинного режиму на одиницю маси, кВт/т	тепловоз
Потужність годинного режиму, кВт	тепловоз
Потужність дотична на розрахунковому підйомі, кВт	тепловоз
Потужність дотична тривалого режиму, кВт	тепловоз
Рід служби	тепловоз
Розрахункова експлуатаційна витрата потужності тепловоза на власні потреби, кВт	тепловоз
Середнє напруцювання на відмову, год	тепловоз
Сила тяги годинного режиму, кН	тепловоз
Сила тяги дотична на розрахунковому підйомі, кН	тепловоз
Сила тяги при рушанні з місця, кН	тепловоз
Сила тяги тривалого режиму, кН	тепловоз
Температура експлуатації, °C	тепловоз
Термін служби дизель-генератора, років	тепловоз
Число ведучих вісей	тепловоз
Швидкість годинного режиму, км/год	тепловоз
Швидкість на розрахунковому підйомі, км/год	тепловоз

Швидкість тривалого режиму, км/год	тепловоз
Автогальма	тип
Автозчеп	тип
Акумуляторна батарея	тип
Букси	тип
Вентилятор охолоджуючого пристрою	тип
Водяні насоси	тип
Головний масляний насос	тип
Дизель	тип
Дизельне мастило	тип
Дизельне паливо	тип
Допоміжний генератор	тип
Дроти та кабелі	тип
Екіпажна частина	тип
Електрична передача потужності	тип
Електричне гальмування	тип
Запуск дизеля	тип
Захист дизеля від зниження тиску мастила	тип
Збудження генератора	тип
Збудження ТЕД	тип
Збуджувач тягового генератора	тип
З'єднання колінчастого вала дизеля з генератором	тип
Змащування деталей тертя дизеля	тип
Зубчаста передача	тип
Кліматичне виконання	тип
Кліматичне виконання дротів та кабелей	тип
Компресор	тип
Мастильний насос	тип
Охолодження мастила	тип
Охолоджуюча рідина	тип
Передача потужності	тип
Підвішування ТЕД	тип
Позначення дизеля по ГОСТ 4393-82	тип
Привід компресора	тип
Ресорне підвішування	тип
Система охолодження дизеля	тип
Турбокомпресор	тип
Тяговий генератор	тип
Тяговий електродвигун	тип
Фільтр грубого очищення палива	тип
Фільтр повітря для дизелів	тип
Фільтр тонкого очищення мастила	тип
Фільтр тонкого очищення палива	тип

Гребнезмащувач КП	Ф
Електричний обігрів систем дизеля	Ф
Електроприлад для підігріву їжі	Ф
Зменшений кут набігання колісних пар (радіальне встановлення КП)	Ф
Зовнішнє освітлення та сигналізація	Ф
Іскрогасник	Ф
Кондиціонування повітря	Ф
Лічильник мотогодин	Ф
Можливість монтажу та демонтажу вузлів, розташованих в кузові через люки	Ф
Можливість транспортування тепловоза з обмеженою швидкістю при заклинюванні КП	Ф
Осушення стисненого повітря	Ф
Паливopідігрівач	Ф
Підкузовне освітлення	Ф
Плавне регулювання продуктивності вентилятора охолоджуючого пристрою дизеля	Ф
Повне використання потужності дизеля	Ф
Пристрій для автозапуску дизеля	Ф
Пристрій для видалення конденсату	Ф
Пристрій для підігрівання теплоносіїв дизеля	Ф
Резервний паливний бак	Ф
Резервні дроти ланцюгів керування віддалених монтажних одиниць	Ф
Розетка для зарядки акумуляторних батарей	Ф
Розетка для підключення ТЕД	Ф
Самоочісні фільтри мастила і палива	Ф
Санвузол та умивальник	Ф
Система безпеки руху	Ф
Система вимірювання та реєстрації витрати палива	Ф
Система захисту від юзу та буксування	Ф
Система злиття води в термоізолюований бак	Ф
Система обігріву лобових та бічних вікон	Ф
Система опалення кабіни машиніста	Ф
Сонцезахисні штори	Ф
Стійкість обладнання до механічних зовнішніх впливаючих факторів	Ф
Управління однією особою	Ф
Фарбування тепловоза	Ф
Холодильник для продуктів харчування	Ф
Шляхоочищувач	Ф
Автоматичне гальмування поїзда	ФА

Автоматичне заміщення електричного гальма пневматичним	ФА
Автоматичне регулювання зазорів між колесами і колодками по мірі зносу останніх	ФА
Електронний регулятор частоти та потужності дизеля	ФА
Мікропроцесорна система управління, регулювання та діагностики	ФА
Система автоматичного пожаротушіння	ФА
Ступінь автоматизації дизеля	ФА

ДОДАТОК Б

Перелік приймальних випробувань тепловозів

1	КОМПЛЕКСНІ ХОДОВІ ДИНАМІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ЗА ВПЛИВОМ НА КОЛІЮ ТА СТІЛОЧНІ ПЕРЕВОДИ
1.1	Швидкості руху, що допускаються на типових конструкціях колії в прямих, кривих ділянках та за стрілочними переходами за умов не перевищення нормативних значень наступних показників:
1.1.1	рамних сил
1.1.2	вертикальних сил, що діють на обресорені та не обресорені частини екіпажу
1.1.3	напружень в зовнішній та внутрішній кромках підшви рейок
1.1.4	напружень в зовнішній кромці вістряків (в регламентованих перерізах)
1.1.5	вертикальних навантажень рейок на шпали
1.1.6	горизонтальних навантажень рейок на шпали
1.1.7	напруження в головках рейок
1.1.8	вертикальні сили, що діють на рейку
1.1.9	вертикальні та горизонтальні переміщення рейок
1.2	Випробування по перевірці проходження тепловозом криволінійних ділянок колії з мінімальними радіусами
1.3	Визначення запасу на відносне переміщення екіпажу
2	ВІДПОВІДНІСТЬ ПРОЕКТНОМУ ОБРИСУ ГАБАРИТА
3	ДИНАМІКО-МІЦНІСНІ ВИПРОБУВАННЯ НЕСНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЕКІПАЖУ
3.1	Динамічні (ходові) якості:
3.1.1	показник плавності ходу
3.1.2	коефіцієнт запасу стійкості проти сходу колеса з рейок
3.1.3	рамні сили в прямих, кривих ділянках колії та в стрілочних переходах
3.1.4	коефіцієнти вертикальної динаміки для 1-ої та 2-ої ступеней підвішування
3.1.5	коефіцієнт конструктивного запасу для 1-ої та 2-ої ступеней підвішування
3.1.6	частота згинальних коливань
3.1.7	перевірка характеристик гідро- та пневмодемпферів 1-ої та 2-ої ступенів підвішування
3.1.8	статичний прогин буксової та кузовної ступенів підвішування
3.1.9	жорсткість поперечного зв'язку колісних пар з візком
3.1.10	власні частоти коливань та показники загасання при скиданні тепловоза з клинів
3.2	Динамічна навантаженість тягового приводу та його елементів
3.2.1	максимальні значення динамічного крутного моменту в тривалому (годинному) режимі або в режимі реостатного (рекуперативного) гальмування при максимальній швидкості руху
3.2.2	кінематичні характеристики
3.2.3	характеристики жорсткості
3.3	Несна здатність (міцність), стійкість та довготривалість елементів конструкції
3.3.1	коефіцієнти запасу опору втомі в несних конструкціях екіпажу
3.3.2	допустимі значення напружень в конструкції екіпажу при дії статичних та квазістатичних навантажень
3.3.3	коефіцієнти запасу стійкості елементів конструкції при регламентованих режимах навантаження
3.3.4	розрахункова довготривалість підшипників колісно-моторного блоку

3.4	Розважування (поколiсне зважування)
3.4.1	вiдхилення фактичного значення маси одиницi рухомого складу вiд проектного
3.4.2	рiзниця навантажень по колесах колiсної пари
3.4.3	Рiзниця навантажень по вiсях в одному вiзку
3.4.4	Рiзниця навантажень по сторонам одиницi рухомого складу
3.5	Оцiнка енергоємностi поглинаючих пристроїв для захисту локомотивної бригади (за наявностi пристроїв в конструкцiї)
3.6	Забезпечення страхування вiд падiнь деталей механiчної частини екiпажу на колiю
3.7	Напружено-деформований стан несних елементiв екiпажної частини та запасiв мiцностi
3.8	Статичнi рами та вiзки
3.9	Ходовi динамiчнi рами та вiзки
3.10	На спiвудари
3.11	Стендовi вiбрацiйнi на втомлену мiцнiсть рами та вiзка
4	ГАЛЬМIВНI ВИПРОБУВАННЯ
4.1	гальмiвний шлях
4.2	Розрахунковий гальмiвний коефiцiєнт i (або) процент гальмiвної ваги
4.3	Утримання ручним гальмом на нормованому ухилi
4.4	Контроль повздовжнiх сил при рiзних режимах гальмування
4.5	Показники призначення локомотивних пристроїв контролю та дiагностики роботи гальмiвної системи
4.5.1	Забезпечення сигналяцiї обриву гальмiвної магiстралi потягу на локомотивах та цiлiсностi гальмiвної магiстралi на моторвагонному рухомому складi
4.5.2	Забезпечення автоматичного гальмування при саморозчипi складу
4.5.3	Забезпечення вiдключення тягового режиму при гальмуваннi
4.5.4	Забезпечення контролю ковзання колiсних пар при механiчному гальмуваннi
4.6	Показники електричного гальмування
4.6.1	Гальмiвна характеристика в повному дiапазонi значень струму якорю, струму збудження та напружень тягових двигунiв
4.6.2	Оцiнка ефективностi дiй електронних систем захисту вiд юзу при електричному гальмуваннi
4.7	Показник призначення автоматизованих систем автоведення ТРС: забезпечення контролю втрати пильностi локомотивною бригадою
5	ТЯГОВО-ТЕПЛOTEХНIЧНI ТА ТЯГОВО-ЕНЕРГЕТИЧНI ВИПРОБУВАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТРС
5.1	Потужнiсть за дизелем
5.2	Витрати палива при номiнальнiй потужностi, часткових навантаженнях та на холостому ходi
5.3	Частота обертань колiнчастого валу дизеля
5.4	Максильний тиск згорання в цилiндрах дизелю
5.5	Тиск наддувного повітря дизеля
5.6	Температура вихлопних газiв
5.7	Температура води в системi дизеля
5.8	Температура мастила в системi дизеля
	Температура мастила в системi гiдропередачi
5.9	Витрата повітря дизелем
	Витрата газу на газодизельному тепловозi
5.10	Витрата охолоджуючої рiдини та смазочного (прокачка через дизель)

	Витрата охолоджуючої рідини через гідропередачу
5.11	Тиск в гідравлічних системах дизеля
5.12	Розрядження на всмоктуванні
5.13	Протитиск на виході
5.14	Прискорювальна здатність дизеля
5.15	Напруга тягового генератора
5.16	Потужність тягового генератора
5.17	Струми тягових електродвигунів - в режимі тяги - в режимі електричного гальмування
5.18	Струми через резистори послаблення, збудження та оцінка глибини послаблення поля на 1-ій та 11-ій ступенях
5.19	Напруга на якорях тягових електродвигунів, струми в гальмівних резисторах в режимі електричного гальмування
5.20	Гальмівна електрична (гідравлічна) потужність
5.21	Струми збудження тягових електродвигунів електричного гальмування в інтервалі швидкостей руху ТРС від максимальної до швидкості відключення електричного гальма (заміни на пневматичний)
5.22	Статичний натиск охолоджуючого повітря в колекторних камерах тягових електродвигунів
5.23	Сила тяги в тривалому режимі
5.24	Гранично допустимі значення: - сили тяги; - сили електричного (гідравлічного) гальмування
5.25	Відхилення від точок перемикання гідроапаратів та ступеней послаблення поля тягових електродвигунів
5.26	Коефіцієнт повернення за швидкістю на характеристиці
	Тривалість переключення з одного гідроапарату на інший та глибина зменшення дотичної сили тяги
5.27	Характеристики - тягові; - гальмівні електричного (гідравлічного) гальма
5.28	Розгінні характеристики дизель-потягу та автомотриси
5.29	Розподілення струмів за тяговими двигунами
5.30	Сила тяги ТРС при максимальному відборі потужності від силової установки на електричне опалення потягу (при наявності вимоги в ТЗ на продукцію)
5.31	Швидкість руху
5.32	Тривала швидкість
5.33	Коефіцієнт корисної дії ТРС: - в робочому діапазоні навантажень від тривалої до конструкційної швидкості; - найбільший
5.34	Процентне відношення потужності, що витрачається на допоміжні потреби, до загальної потужності силової установки
5.35	Використання потужності силової установки в інтервалі швидкостей від номінального (тривалого) режиму до конструкційної включно
5.36	Аеродинамічні випробування системи охолодження електричних машин
5.37	Теплові та аеродинамічні випробування ЕДТ
5.38	Теплотехнічні випробування охолоджуючого пристрою дизеля
5.39	Стендові випробування на працездатність САРТ
5.40	Випробування по визначенню функціонування САРТ

6	ВИПРОБУВАННЯ НА ВІДПОВІДНІСТЬ ВИМОГАМ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я ОБСЛУГОВУЮЧОГО ПЕРСОНАЛУ
6.1	Випробування по оцінці безпеки праці:
6.1.1	Доступ до агрегатів та механізмів
6.1.2	Загальна компоновка: розміщення та розміри сходів майданчиків, дверей, підніжок, поручнів
6.1.3	Планування машинного відділення: розміри проходів, огороження частин, що обертаються, та частин, що нагріваються про роботі до температури, що загрожує здоров'ю обслуговуючого персоналу
6.1.4	Встановлення знаків безпеки
6.1.5	Рівень звуку тифонів та свистків
6.1.6	Показники електробезпеки
6.1.6.1	Огороження струмопровідних частин
6.1.6.2	Блокувальні пристрої дверей високовольтних камер, штор
6.1.6.3	Механічне блокування рукояток контролера машиніста при знятій реверсивній рукоятці
6.1.6.4	Недопустимість приведення ТРС до руху при невиконанні хоча б одного з перерахованих вище умов: - пристрій блокування гальм знаходиться у відкритому положенні; - кнопки керування на пульті машиніста розблоковані; - реверсивно-селективна рукоятка знаходиться в одному з робочих положень - наявність повітря в гальмівній системі
6.1.7	Забезпечення захисту дизеля від розносу
6.1.8	Забезпечення захисту дизеля від вибуху парів мастила в картере
6.1.9	Наявність та контроль стану засобів індивідуального захисту, електрозахистних засобів, протишумних навушників, інструменту
6.2	Світлотехнічні випробування
6.2.1	Яскравість шкал засобів відображення інформації на пульті керування
6.2.2	Сила світла прожектора
6.2.3	Наявність та працездатність буферних ліхтарів
6.2.4	Світлотехнічні характеристики матеріалів (коефіцієнти відбиття та світлопропускання лобового скла, коефіцієнти пропускання сонцезахисних екранів)
6.3	Ударна міцність лобового скла кабіни машиніста
6.4	Випробування склоочисників та склоомивачів
7	САНІТАРНО-ГІГІЄНИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ВИПРОБУВАННЯ
7.1	Розміри пульту керування, розташування пульта керування та крісла машиніста. Зони розташування засобів відображення інформації та керування, форми рукояток
7.2	Розміри засобів відображення (ЗВ), зусилля на органах керування (ОУ)
7.3	Оглядовість з кабіни машиніста
7.4	Освітленість в кабіні машиніста, в машинному відділенні і в пасажирських салонах
7.5	Оцінка рівня шуму в кабіні машиніста, машинному відділенні і в пасажирському салоні: Рівень шуму, дБА; Рівень звукового тиску, дБ в октавних смугах частот.
7.6	Оцінка рівня вібрації на робочих місцях локомотивної бригади і на місцях для пасажирів за середньоквадратичними значеннями віброприскорень (або

	віброшвидкостей) в трьооктавних смугах частот
7.7	Оцінка рівня зовнішнього шуму, рівень звуку, дБА
7.8	Оцінка параметрів інфразвуку в кабіні машиніста (для магістрального ТРС): рівень звуку, дБЛин; рівень звукового тиску, дБ в октавних смугах частот
7.9	Параметри мікроклімату в кабіні машиніста та в пасажирському салоні
7.9.1	Температура повітря та поверхні
7.9.2	Перепад температур за висотою, між загорожею та повітрям в 150 мм від нього, за довжиною салону
7.9.3	Відносна вологість
7.9.4	Швидкість руху повітря
7.9.5	Оцінка бактеріального обсіменіння повітряного середовища пасажирських салонів
7.9.6	Рівні впливу постійних магнітних та електричних полів
7.9.7	Оцінка радіоактивної забрудненості повітря та поверхнею загорожі в кабіні та салоні
7.10	Оцінка місткості (ємності) водяного баку для побутових потреб
7.11	Контроль наявності та стану санітарно-побутового забезпечення - шаф для зберігання одягу; - місць для зберігання продуктів харчування; - туалету; - аптечки
7.12	Оцінка ефективності холодильника їжи
7.13	Потенційна небезпека матеріалів кабіни та салону
7.13.1	Рівень забрудненості токсичними продуктами деструкції матеріалів кабіни та салону
7.13.2	Показник біологічної небезпеки матеріалів при пожежі
7.13.3	Концентрація токсичних продуктів горіння матеріалів: - оксида вуглероду; - інших інгредієнтів в залежності від хімічного складу матеріалів кабіни та салону
7.14	Ергономічні випробування кабіни машиніста та пасажирських салонів: Ергономічна оцінка характеристик ЗВ і ОУ; Оцінка зовнішнього та внутрішнього кольорового оформлення
7.15	Екологічні показники
7.15.1	Димність відпрацьованих газів
7.15.2	Викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами: - питомий викид окислів азоту; - питомий викид окису вуглероду; - викид окислів азоту на 1 кг витрати палива; - викид окису вуглероду на 1 кг витрати палива
7.16	Випробування ефективності пристроїв, що запобігають потраплянню на ходову частину тепловозу та залізничне полотно палива та мастила
8	ВИПРОБУВАННЯ ПО ОЦІНЦІ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ
8.1	Температура повітряного середовища при пожежі
8.2	Температура на поверхні конструкції та внутрішнього обладнання
8.3	Показники функціональної працездатності систем пожежної сигналізації та пожежогасіння
8.4	Опір ізоляції силових та допоміжних ланцюгів; електрична міцність ізоляції
8.5	Опір захисного заземлення вузлів електрообладнання
8.6	Показники пожежонебезпечних властивостей матеріалів: - індекс розповсюдження полум'я;

	- коефіцієнт димоутворення; - група горючості.
8.7	Межа вогнестійкості внутрішньовагонних вогнестримуючих конструкції
8.8	Пожежо-вибухозахист акумуляторних ящиків (відділень)
9	ВИПРОБУВАННЯ НА ЕЛЕКТРОМАГНІТНУ СУМІСНІСТЬ ОБЛАДНАННЯ ТРС ТА ЗАСОБІВ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ
9.1	Рівень та спектральний склад заважального струму ТРС в рейкових ланцюгах
9.2	Рівень впливу ТРС на провідні лінії зв'язку
9.3	Стійкість роботи автоматичної локомотивної сигналізації безперервної дії
10	ВИПРОБУВАННЯ ПО ОЦІНЦІ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПРОЦЕЗДАТНОСТІ ЛОКОМОТИВНИХ ПРИЛАДІВ БЕЗПЕКИ
10.1	Функціональна безпека приладів
10.2	Функціональна працездатність сигналізації керування при нормативних умовах експлуатації
10.3	Функціональна працездатність при - механічних впливах; - кліматичних впливах; - коливаннях напруження джерел живлення
10.4	Завадостійкість

ДОДАТОК В

Програма-методика проведення експлуатаційних випробувань на надійність

М І Н І С Т Е Р С Т В О І Н Ф Р А С Т Р У К Т У Р И
У К Р А Ї Н И
Д Е Р Ж А В Н А А Д М І Н І С Т Р А Ц І Я
З А Л І З Н И Ч Н О Г О Т Р А Н С П О Р Т У У К Р А Ї Н И
У К Р А Ї Н С Ь К А Д Е Р Ж А В Н А А К А Д Е М І Я З А Л І З Н И Ч Н О Г О Т Р А Н С П О Р Т У

ПОГОДЖЕНО

Начальник Головного управління
локомотивного господарства
Укрзалізниці

« ____ » _____ 201__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Розробник

« ____ » _____ 201__ р.

П Р О Г Р А М А - М Е Т О Д И К А
Проведення експлуатаційних випробувань на надійність модернізованого
тепловоза серії М62 дизелем
Дженерел моторс

ПМ-М62-11.00.01

ПОГОДЖЕНО

« ____ » _____ 201__ р.

« ____ » _____ 201__ р.

ПОГОДЖЕНО

« ____ » _____ 201__ р.

« ____ » _____ 201__ р.

2011

ЗМІСТ

Програма-методика встановлює послідовність і об'єм проведення випробувань за визначенням показників надійності і ефективності використання модернізованого тепловоза серії М62 з дизелем Джeneral Моторс (надалі тепловоз М62) в умовах експлуатації на залізницях України.

1 ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ

1.1 Об'єкт випробувань – модернізований тепловоз серії М62 потужністю 2238 кВт з дизелем General Motors типа EMD-645 з електричною передачею змінно-постійного струму, автоматизованим управлінням призначений для роботи у вантажопасажирському режимі на магістральних залізничних коліях з шириною колії 1520 мм в кліматичних умовах класу В категорії розміщення - 1 відповідно до вимог ГОСТ 15150. Тепловоз обладнаний сучасними електронними системами, виконаними на мікропроцесорній основі:

- управління, регулювання та діагностика;
- безпеки руху;
- оперативного виведення інформації;
- пожежної сигналізації.

1.3 Вимоги до конструкції, пристрою і показників призначення тепловоза М62 визначаються Технічним завданням (ТЗ) [1] і документацією на локомотив. Прилади безпеки, автогальмових обладнання, колісні пари і автозчіпного пристрою повинні відповідати вимогам діючої нормативної документації Укрзалізниці [2-6].

1.4 Основні характеристики модернізованого тепловоза М62:

Наименование показателя	М62
Ширина колії, мм	1520
Осьова формула	(3 ₀ -3 ₀)
Потужність двигуна внутрішнього згорання, кВт	2238
Максимальна робоча маса локомотива, т	126
Максимальне осьове навантаження на рейку, кН	200
Довжина локомотива, м	17,55/17,40
Ширина локомотива, м	2,95
Висота локомотива, м	4,615
Максимальна експлуатаційна швидкість, км/год	100
Максимальна сила тяги при рушанні, кН	400
Сила тяги в тривалому режимі, кН	320
Пневматичне гальмо	Матросов
Запас палива, л	3900
Запас піску, кг	600
Ємність системи масла, л	800
Об'єм від поділки Low (нижній) до поділки Full (верхній) на показнику рівня масла двигуна внутрішнього згорання, л	178
Об'єм системи охолодження двигуна внутрішнього згорання, л	962

2 МЕТА ВИПРОБУВАНЬ

2.1 Експлуатаційні випробування є міжвідомчими.

2.2 В процесі експлуатаційних випробувань дослідного зразка модернізованого тепловоза М62 передбачається перевірка працездатності тепловоза з пробігом до 10 000 км.

2.3 Метою експлуатаційних випробувань на надійність є оцінка в межах встановленого пробігу основних показників надійності за ГОСТ 27.002-89, основних показників, що характеризують працездатність тепловоза М62, стабільність параметрів регулювання, знос окремих вузлів, пошкоджувальність і ремонтпридатність, а також порівняння отриманих показників вимогами ТЗ і діючими в Україні нормативними

вимогами до рухомого складу цього класу з пробігом до 300 000 км.

3 ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

3.1 Ця Програма-методика є організаційно-методичним документом, що визначає умови проведення випробувань дослідного модернізованого тепловоза М62 в рамках узгодженої Програми його приймальних випробувань.

3.2 Ця програма-методика встановлює обсяг експлуатаційних випробувань дослідних зразків модернізованого тепловоза магістрального М62 відповідно до договору № _____.

3.3 Результати вказаних випробувань використовуються при оцінці відповідності конструкції вимогам ТЗ та можливості допуску тепловоза М62 до експлуатації на магістральних залізничних лініях України.

4 МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ

4.1 Методи випробувань ґрунтуються на визначенні експлуатаційних параметрів, розрахунку техніко-економічних показників, показників надійності і порівнянні їх із допустимими значеннями, визначеними ТЗ та чинної нормативної документації Укрзалізниці.

4.2 Оцінка експериментально визначених показників, що характеризують експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт модернізованих тепловозів М62 ґрунтується на порівнянні їх із допустимими значеннями.

5 ОБ'ЄМИ ВИПРОБУВАНЬ

Відповідно до вимог ЦТ-0112 затверджених наказом Укрзалізниці № 130-ЦЗ від 19 квітня 2005 р. «Методичні вказівки з підготовки і проведення приймальних випробувань тягового рухомого складу та його складових» пробіг експлуатаційних випробувань на надійність встановлюється не менше 10 000 км.

6 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

6.1 Первинний облік експлуатаційних, ремонтних і економічних показників проводиться за існуючими в локомотивному депо форм обліку та статистичної звітності в системі Укрзалізниці.

6.2 Оцінка надійності в умовах експлуатації (згідно ГОСТ 27.002) проводиться шляхом збору даних для аналізу і розрахунку показників. Експлуатаційними випробуваннями встановлюються:

- добовий, середньодобовий і загальний пробіг;
- експлуатаційна питома витрата палива;
- трудомісткість технічного обслуговування ТО;
- середньотехнічна та дільничні швидкості;
- працездатність систем управління та діагностики, безпеки руху;
- працездатність систем оперативного виведення інформації;
- працездатність системи пожежної сигналізації;
- температурний режим у кабіні машиніста;
- види проведених технічних обслуговувань;
- кількість і характер позапланових ремонтів;
- доступність складальних одиниць для огляду;
- легкознімною і взаємозамінністю несправних деталей;
- пристосованість до основних технологічних операцій при ТО.

6.3 Після завершення встановленого пробігу комісійним оглядом оцінюється технічний стан:

- екіпажної частини;
- дизель-агрегату і його систем;
- обладнання тягової передачі;
- обладнання, що входить в систему власних потреб;
- обладнання мікропроцесорних систем керування та діагностики, безпеки руху, виведення інформації та пожежної сигналізації.

На основі цих даних після закінчення експлуатаційних випробувань повинні бути розраховані наступні показники:

- безвідмовності

а) для вузлів, що ремонтуються:

Ймовірність безвідмовної роботи	$P(t)$
Інтенсивність відмов	$\lambda(t)$
Середня напрацювання до першого відмови	T_{cp}

б) для вузлів, що не ремонтуються:

Ймовірність безвідмовної роботи	$P(t)$
Параметр потоку відмов	$\omega(t)$
Середнє напрацювання на відмову	T_o

- ремонтпридатності

Для оцінки ремонтпридатності модернізованого тепловоза М62 і його вузлів при проведенні ТО при наявності інформації повинні бути визначені наступні показники:

- перелік робіт, що проводяться на ТО;
- середня оперативна тривалість ТО;
- середня оперативна трудомісткість ТО;
- середня тривалість ТО;
- середня трудомісткість ТО

На підставі визначених показників ремонтпридатності повинні бути розраховані (згідно ГОСТ 21623-76):

- коефіцієнт готовності;
- коефіцієнт оперативної готовності;
- коефіцієнт легкознімності.

6.4 На підставі отриманих розрахункових даних виконується загальний аналіз надійності модернізованого тепловоза М62 як в цілому, так і за основними його вузлів:

- експлуатаційних витрат

- зарплата локомотивних бригад;
- паливо;
- матеріали (масло, пісок, вода).

- надійність

- оцінити конструкцію тепловоза на відповідність кліматичному виконанню;
- оцінити наслідки механічних впливів зовнішнього середовища на обладнання тепловоза М62;
- визначити необхідний рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу;
- визначити повноту і відповідність ремонтно-експлуатаційної документації;
- оцінити відповідність ремонтної бази депо для обслуговування і ремонту тепловозів М62;
- оцінити загальну ремонтпридатність тепловозів М62.

7 ЗАСОБИ ВИПРОБУВАНЬ

При проведенні експлуатаційних випробувань використовується нормативно-технічна документація Укрзалізниці, ремонтно-експлуатаційна документація Виробника, звітна документація депо та реєструючі засоби, що використовуються на тепловозі М62.

8 УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

8.1 Експлуатаційним випробуванням піддається дослідний зразок модернізованого тепловоза М62, що пройшов приймально-здавальні, приймальні випробування .

8.2 Розглянуті експлуатаційні випробування модернізованого тепловоза М62 проводяться

спільно з Укрзалізницею.

8.3 Стан колії на випробувальних ділянках має відповідати вимогам «Інструкції по влаштую та утримання колії залізниць України».

8.4 Для керівництва випробуваннями начальник залізниці спільно з співвиконавцями призначають наказами своїх відповідальних фахівців за:

- експлуатацію тепловоза М62 та забезпечення його збереження;
- організацію збору, систематизацію, аналіз даних та підготовку необхідної звітності за результатами випробувань.

8.5 Представники залізниці забезпечують нагляд за технічним станом тепловоза М62 і забезпечують сервісні роботи під час його випробувань.

8.6 Локомотивне депо приписки представляє засоби зв'язку (телефон, факс, інтернет) для вирішення оперативних питань та надання звітності про хід випробувань.

9 ПІДГОТОВКА ДО ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

9.1 Для підготовки проведення експлуатаційних випробувань на відповідність показників надійності заданим нормам Виробник надає випробувальним організаціям наступні матеріали:

- акт про готовність модернізованого тепловоза М62 до експлуатаційних випробувань, підписаний інспектором-приймальником Укрзалізниці;
- протоколи попередніх та приймальних випробувань тепловоза М62;
- інструкції з експлуатації та технічного обслуговування;
- складальні креслення візків і кузова, схему гальмівного обладнання тепловоза.

9.2 Додатково Виробник представляє наступні матеріали:

- акт з даними про попередні пробіги тепловоза М62 на початок експлуатаційних випробувань;
- акт з даними про наявний прокат, товщини гребенів, товщини бандажів колісних пар.

9.3 Для проведення експлуатаційних випробувань необхідна наявність розпорядчих документів адміністрації Укрзалізниці відповідним службам залізниць України в рамках яких проводяться випробування.

9.3.1 Для організації експлуатаційних випробувань модернізованого тепловоза М62 начальник залізниці видає розпорядчі акти, що визначають:

- локомотивне депо приписки на час випробувань;
- ділянка звернення, графік руху і схему формування потягу у складі тепловоза М62;
- порядок підготовки для випробувань вантажних поїздів;
- відповідальна особа від управління залізниці.

9.3.2 Начальник локомотивного депо видає наказ по виконанню обсягу випробувань, призначенням відповідальних осіб за:

- експлуатацію тепловозів М62;
- технічне обслуговування та поточні ремонти;
- організацію технічного навчання з вивчення особливостей конструкції і технічного обслуговування;
- організацію збору, систематизацію, аналіз даних та підготовку необхідної звітності за результатами випробувань.

10 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

10.1 Локомотивне депо представляє обслуговуючому персоналу та учасникам випробувань проживання, канали телефонного зв'язку.

10.2 Виробник забезпечує та здійснює:

- Теоретичне і практичне навчання локомотивних бригад і ремонтного персоналу, а також необхідні технічні консультації в ході випробувань;
- Працездатний стан тепловоза М62 за допомогою групи сервісу. З метою виключення тривалих простоїв на позапланових ремонтах створюється необхідний запас деталей і складальних вузлів, який передається на відповідальне зберігання в депо;
- Розробку звітної документації за результатами випробувань на всіх стадіях їх

проведення;

- Супровід поїздок тепловоза М62 фахівцями виробника (при необхідності).

10.3 Технічні служби депо, в якому проводяться випробування, ведуть облік показників роботи тепловозів М62М і М62 та їх технічного обслуговування за формами деповський звітності, передбаченими «Альбомом форм первинної документації по локомотивному господарству»:

- настільний журнал чергового по депо, форма ТУ-1;
- книга запису ремонтів локомотивів, форма ТУ-28;
- книга пошкоджень і несправностей локомотивів, форма ТУ-29;
- книга зауважень машиністів, форма ТУ-137;
- журнал технічного стану локомотивів, форма ТУ-152;
- журнали цехів і спеціалізованих ділянок депо;
- звіт про результати витрати палива (електроенергії) та виконаної роботи локомотивами, форма Тхо-5;
- журнал експлуатаційних випробувань.

10.4 На підставі даної інформації із зазначених вище джерел представниками депо щодня реєструється:

- дата;
- добовий пробіг;
- ділянка обігу;
- несправності і відмови, виявлені в поїзді;
- причина і характер позапланових ремонтів, їх трудомісткість;
- дані з маршрутних листів локомотивних бригад;
- витрата матеріалів і запчастин на ТО-2;
- характер проведених регулювань;
- експлуатаційний витрата палива;
- погодні умови та інші відомості;
- стан пожежної сигналізації;
- час і причина вимушеного простою в депо.

10.5 Відмови обладнання тепловоза М62 аналізуються фахівцями локомотивного депо, Укрзалізниці, виробника, співвиконавців, постачальниками комплектуючого обладнання та технічного відділу локомотивного депо. Результати аналізу причин відмов в складних випадках оформляються актом.

10.6 У ході експлуатаційних випробувань можливі додаткові перевірки або випробування вузлів і систем за участю представників підприємств-постачальників комплектуючого обладнання, що виходять за рамки цієї Програми-методики. Зазначені заходи узгоджуються з керівництвом випробуваннями в робочому порядку.

10.7 Експлуатаційні випробування припиняються достроково у разі виникнення несправностей у складальних одиницях, які загрожують безпеці руху, пожежної безпеки та безпеки обслуговуючого персоналу.

11 ОБРОБКА, АНАЛІЗ І ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

11.1 При проведенні експлуатаційних випробувань визначаються і оцінюються показники (п. 6.2), які характеризують економічну ефективність використання тепловозів М62 та їх надійність.

11.1.1 Ймовірність безвідмовної роботи по системах тепловоза М62 визначається як

$$P(t) = 1 - \frac{n_i}{\sum n_i},$$

де n_i – кількість елементів, що відмовили;

$\sum n_i$ – загальна кількість елементів.

11.1.2 Частота відмов

$$f(t) = \frac{\Delta m_i}{\Delta t \cdot \sum n_i},$$

де Δm_i – кількість елементів, що відмовили в інтервалі Δt ;

11.1.3 Інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}.$$

11.1.4 Середнє напрацювання до першої відмови

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda(t)}.$$

11.1.5 Для оцінки ремонтпридатності тепловоза М62 і його вузлів при проведенні ТО і ПР повинні бути визначені наступні показники:

- середня сумарна тривалість ТО;
- середня сумарна трудомісткість ТО.

11.1.6 На підставі визначених показників ремонтпридатності повинні бути розраховані (згідно ГОСТ 21623-76) такі комплексні кількісні показники надійності.

Коефіцієнт готовності, який визначати як

$$K_r = \frac{T_{\text{э}}}{T_{\text{э}} + T_p},$$

де $T_{\text{э}}$ - сумарний час експлуатації РА в працездатному стані за аналізований період;

T_p - сумарний час простою тепловоза М62 на ТО і ПР за цей же період.

11.1.6.1 Коефіцієнт простою

$$K_{\text{п}} = 1 - K_r$$

11.1.6.2 Коефіцієнт технічного використання, який визначати як

$$K_{\text{тв}} = \frac{T_{\text{э}}}{T_{\text{э}} + T_p + T_{\text{рез}}},$$

де $T_{\text{рез}}$ - сумарний час знаходження тепловоза М62 в резерві.

11.2 На підставі отриманих розрахункових даних виконується загальний аналіз надійності модернізованого тепловоза М62 як в цілому, так і за основними його вузлів.

11.3 Відомості про відмови модернізованого тепловоза М62 і його складальних одиниць за аналізований період і безпосередньо при випробуваннях заносяться в базу даних ПЕОМ для статистичної обробки за спеціальною програмою.

11.4 За результатами статистичної обробки центром оперативно-технічного обліку локомотивного даних маршрутних листів поїздок локомотивних бригад і відомостей Журналу експлуатаційних випробувань визначаються:

11.4.1 Добовий пробіг тепловоза М62;

11.4.2 Середньодобовий пробіг тепловоза М62

$$S_{\text{дп}} = \frac{\sum m_s}{M_{\text{рб}} \cdot t}, \text{ км/сут},$$

де $\sum m_s$ – лінійний пробіг тепловоза М62;

$M_{\text{рб}}$ – експлуатується парк тепловозів М62, зайнятих у вантажних перевезеннях;

t – число діб в звітному періоді.

11.4.3 Загальний пробіг визначається шляхом послідовного підсумовування добових пробігів, км.

11.4.4 Експлуатаційна витрата палива за поїздки по вимірювального приладу рівня палива на початку і в кінці робочої зміни

$$G_T = G_{\text{ТН}} - G_{\text{ТК}}, \text{ кг},$$

де $G_{\text{ТН}}$ – кількість палива на початок поїздки, кг;

G_{TK} – кількість палива в кінці поїздки, кг.

11.4.5 Питомий експлуатаційний розхід палива, кг/ткм брутто:

$$g_e = \frac{G_T}{Q_{ДП}} \cdot \sum m_s \cdot 10^{-4},$$

де $Q_{ДП}$ – маса складу брутто.

11.5 Працездатність системи управління та діагностики, безпека руху, оперативного виведення інформації та пожежної сигналізації оцінюється з аналізу змісту записів в Журналі технічного стану і Книзі зауважень машиністів.

11.6 Температурний режим вимірюється прямим вимірюванням температури повітря за окремою методикою випробувань.

11.7 Види проведених технічних обслуговувань, кількість і характер пошкоджень і позапланових ремонтів встановлюється за записами книги ремонтів (форма ТУ-28).

Пошкодження обладнання з причин класифікуються за ГОСТ 27.002.

Пошкодження обладнання в складних випадках, у т. ч. спричинили розбирання вузлів, комісійно оцінюються відповідними фахівцями із складанням актів.

11.8 Визначення якісних характеристик ремонтпридатності і експлуатаційної технологічності тепловоза М62 (доступність складальних одиниць для огляду, легкознімною і взаємозамінність відмовили деталей, пристосованість до основних технологічних операцій при ТО) здійснюється візуальним спостереженням за виконанням технологічних операцій обслуговування з використанням зауважень і пропозицій безпосередніх виконавців робіт та пропозицій локомотивних бригад.

11.9 Оцінка результатів випробувань і аналіз показників надійності тепловоза М62 виконується шляхом порівняння отриманих величин з їх допустимими значеннями, зазначеними в ТЗ і в чинній нормативно-технічній документації Укрзалізниці.

12 ВИМОГИ БЕЗПЕКИ, ОХОРОНИ ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

12.1 Всі роботи з підготовки до проведення експлуатаційних випробувань тепловоза М62 повинні проводитися під безпосереднім контролем керівника випробувань і відповідних служб депо експлуатації, з дотриманням загальних вимог виробничої санітарії, правил та інструкцій з охорони праці і техніки безпеки, передбачених на залізничному транспорті [5, 10].

12.2 До підготовки та проведення випробувань допускаються особи, які пройшли навчання з управління та обслуговування тепловоза М62М, ознайомлені під розпис з цієї методикою.

12.3 До електромонтажу додаткових засобів вимірювальної техніки, комунікацій, їх налагодження та регулювання допускаються особи, які вивчили технологічну документацію на засоби вимірювальної техніки та мають навички робіт з електровимірювальними приладами.

12.4 Використовувані під час випробувань засоби вимірювальної техніки повинні забезпечувати безпеку обслуговування і задовольняти вимогам ГОСТ 12.2003.

Забороняється працювати з приладами зі знятими лицьовими і захисними панелями.

12.5 Всі роботи з обслуговування тепловозів М62 повинні виконуватися відповідно до:

- «Правилами безпеки при експлуатації електровозів, тепловозів та моторвагонного рухомого складу», Державними нормативними актами про охорону праці (ДНАОП 5.11-1.17.96);
- Інструкцією з експлуатації та технічного обслуговування тепловозів М62.
- Правилами технічної експлуатації залізниць України (ЦРБ 0004).

	$F_i :=$	$V_i :=$
$\alpha := 1$	352946	0
$\beta := 0$	320017	5
$q4 := 77$	295870	10
$q8 := 168$	277404	15
$q04 := \frac{q4}{4} = 19.25$	262825	20
$q08 := \frac{q8}{8} = 21$	251775	24
$Vkon := 100$	241704	25
$P := 120$	201420	30
$Fkr := 246640$	172646	35
$G := 9.033$	151065	40
$gx := 0.145$	134280	45
$\sigma := 0.97$	120852	50
$x1 := 0$	109865	55
чавунні колодки	100710	60
$x2 := 1$	92963	65
композиційні колодки	86323	70
$Vr := 24.5$	80568	75
$ir := 8.1$	75533	80
$ipr := 4.3$	71089	85
$spr := 2630$	67140	90
$Vn := 60$	63606	95
$itr := 0$	60426	100
$Fktr := 353000$		
$L_{поп} := 1250$		
$Lл := 18$		
$i := 0..21$		
$ic := -7.8$		
$K := 264$		
$k := 1..K$		
$j := 1..K$		
$g := 9.81$		
$Q := 3300$		

Додаткові відомості про локомотив
Розрахунок основних параметрів поїзда
Розрахунок питомих рівнодійних сил

$$w'_i := 1.9 + 0.008 \cdot V_i + 0.00025 \cdot (V_i)^2$$

$$w''4_i := 0.7 + \frac{3 + 0.09 \cdot V_i + 0.002 \cdot (V_i)^2}{q04}$$

$$w''8_i := 0$$

$$w''_i := \alpha \cdot w''4_i + \beta \cdot w''8_i$$

$$wx_i := 2.4 + 0.009 \cdot V_i + 0.00035 \cdot (V_i)^2$$

$$W_i^p := w_i^p \cdot P \cdot g$$

$$W_i^m := w_i^m \cdot Q \cdot g$$

$$W_i := W_i^p + W_i^m$$

$$W_{x_i} := w_{x_i} \cdot P \cdot g$$

$$m4 := \alpha \cdot \frac{Q}{4 \cdot q04}$$

$$m8 := \beta \cdot \frac{Q}{8 \cdot q08}$$

$$n4 := 4 \cdot m4$$

$$n8 := 8 \cdot m8$$

$$L_n := 15 \cdot m4 + 20 \cdot m8 + L_n$$

$$m4 = 42.857$$

$$\varphi_i := \begin{cases} \left(0.27 \cdot \frac{V_i + 100}{5 \cdot V_i + 100} \right) & \text{if } |x1| \end{cases}$$

$$\begin{cases} \left(0.36 \cdot \frac{V_i + 150}{2 \cdot V_i + 150} \right) & \text{if } |x2| \end{cases}$$

$$\theta_i := \begin{cases} \frac{\sigma \cdot 68.5 \cdot (n4 + n8)}{Q \cdot g} & \text{if } |x1| \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{\sigma \cdot 41.5 \cdot (n4 + n8)}{Q \cdot g} & \text{if } |x2| \end{cases}$$

$$b_i := 1000 \cdot \varphi_i \cdot \theta_i$$

Таблиця питомих рівнодійних сил

$$f - w_0$$

$$w_{0x}$$

$$w_{0x+0.25 b_T}$$

$$\overrightarrow{F_i - W_i}$$

$$vf_i := \frac{(P + Q) \cdot g}{(P + Q) \cdot g}$$

$$vfx_i := \left[\frac{W_{x_i} + W_i^m}{(P + Q) \cdot g} \right]$$

$$vft_i := \left[0.25 \cdot b_i + \frac{W_{x_i} + W_i^m}{(P + Q) \cdot g} \right]$$

$V_i =$	$vf_i =$	$vfx_i =$	$vft_i =$
0	9.627	-0.91	-20.095
5	8.619	-0.937	-19.522
10	7.867	-0.97	-19.026
15	7.279	-1.008	-18.594
20	6.802	-1.052	-18.217
24	6.434	-1.091	-17.95
25	6.124	-1.101	-17.888
30	4.869	-1.156	-17.6
35	3.952	-1.217	-17.35
40	3.244	-1.283	-17.132
45	2.673	-1.355	-16.943
50	2.197	-1.433	-16.781
55	1.789	-1.516	-16.643
60	1.429	-1.605	-16.526
65	1.106	-1.699	-16.431
...	...	...	...

$fT(v) := \text{linterp}(V, vf, v)$

$fX(v) := \text{linterp}(V, vfx, v)$

$fB(v) := \text{linterp}(V, vft, v)$

Попередні розрахунки за тяговою ділянкою

$N := 72120$

$n := 1, 2 \dots N$

$\Delta s := 0.001$

$$\frac{72120}{1} = 7.212 \times 10^4$$

$v_n := 0$

$s_n := 0$

$t_n := 0$

$t_{\text{graf}_n} := 0$

$E1_n := 0$

$h_n := 10$

початкова відносна висота профілю, м

початковий перегрів, град

максимально допустима швидкість, км/год

швидкість на початку проби гальм, км/год

швидкість наприкінці проби гальм, км/год

координата початку ділянки проби гальм, км

координата кінця ділянки проби гальм, км

$$\tau_n := 15$$

$$V_{\text{доп}} := 80$$

$$V_{\text{гр}} := 45$$

$$V_{\text{кр}} := 25$$

$$S_{\text{гр}} := 6.12$$

$$S_{\text{кр}} := 8.1$$

Обчислення приросту шляху

$$s_{n+1} := s_n + \Delta s$$

$$s_N = 72.119$$

Спрямлення профілю та обчислення уклону виконується на кожному кроці інтегрування

$$S_j := \frac{\sum_{k=1}^j S_{z_k}}{1000}$$

$$ik_k := \frac{700 \cdot S_{kr_k}}{R_k \cdot S_{z_k}}$$

$$ic_k := iz_k + ik_k$$

$$i_n := \begin{cases} \text{for } j \in 1..K \\ \left| \begin{array}{l} I \leftarrow ic_j \text{ if } S_{j-1} \leq s_n < S_j \\ j \leftarrow j + 1 \text{ otherwise} \end{array} \right. \\ I \end{cases}$$

$$u_n := \begin{cases} \text{for } j \in 1..K \\ \left| \begin{array}{l} U \leftarrow M_j \text{ if } S_{j-1} \leq s_n \leq S_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ U \end{cases}$$

обчислення уклону на кожному кроці інтегрування

$$L_n := \text{Round}\left(\frac{L}{1000}, \Delta s\right)$$

$$L_n = 0.661$$

довжина поїзда, км

абсциса вихідного світлофора, км

$$L1 := \text{Round}\left(\frac{L_n}{2}, \Delta s\right)$$

$$L1 = 0.331$$

$$k_n := \frac{L_n}{\Delta s}$$

$$k_n = 661$$

кількість елементів Δs на яких вміщується поїзд

$$k1 := \frac{\text{Round}(L1, \Delta s)}{\Delta s}$$

$$k1 = 331$$

кількість елементів Δs від вісі станції до вихідного світлофора (головна частина поїзда)

$$k2 := k_n - k1$$

$$k2 = 330$$

кількість елементів Δs від вісі станції до хвоста поїзда

$$icp_n := \begin{cases} \frac{\sum_{n=0}^{n+k1-1} i_n}{n+k1} & \text{if } n \leq k2 \\ \frac{\sum_{n=n-k2}^{N-1} i_n}{N-n+k2} & \text{if } n \geq N-k1 \\ \frac{\sum_{n=n-k2}^{n+k1-1} i_n}{k\pi} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$h_{n+1} := h_n + i_n \cdot \Delta s$$

кількість обмежень швидкості на ділянці

$$KO := 1$$

відомості про обмеження швидкості:

координата початку

обмеження, км:

координата кінця

обмеження, км:

дозволена швидкість, км/год:

$$OGR_{0,0} := 0$$

$$OGR_{0,1} := 48.07$$

$$OGR_{0,2} := 60$$

$$VOGR(s) := \begin{cases} V \leftarrow V_{доп} \\ \text{for } i \in 0..(KO-1) \\ \quad V \leftarrow OGR_{i,2} \text{ if } OGR_{i,0} \leq s + \frac{L\pi}{2} + 0.5 \leq OGR_{i,1} + L\pi + 0.5 \\ V \end{cases}$$

$$fX(v) \text{ if } icp_n < 0 \wedge s_{кр} < s_n < s_N$$

$$fX(v) \text{ if } u_n = 0$$

Завдання режиму руху

$$fB(v) \text{ if } s_n \geq STOPc$$

$$STOPc := 71.378$$

$$f(v,n) := \begin{cases} fX(v) \text{ if } u_n = 0 \\ fB(v) \text{ if } v \geq VOGR(s_n) \\ fB(v) \text{ if } v \geq V_{доп} \\ fB(v) \text{ if } s_n \geq STOPc \\ fI(v) \text{ otherwise} \\ fX(v) \text{ if } u_n = 0 \\ fI(v) \cdot u_n \text{ if } u_n > 0 \\ fB(v) \text{ if } v \geq V_{доп} \\ fB(v) \text{ if } v \geq VOGR(s_n) \\ fB(v) \text{ if } s_n \geq STOPc \end{cases}$$

Побудова кривих швидкості та часу

Визначення швидкості руху та автоматичне виконання проби гальм

$$v_{n+1} := \begin{cases} \sqrt{(v_n)^2 + 2 \cdot 120 \cdot \Delta s \cdot (fB(v_n) - icp_n)} & \text{if } v_n > V_{\text{пр}} \wedge S_{\text{пр}} \leq s_n \leq S_{\text{кр}} \\ \sqrt{(v_n)^2 + 2 \cdot 120 \cdot \Delta s \cdot (fB(v_n) - icp_n)} & \text{if } v_n \geq V_{\text{кр}} \wedge S_{\text{пр}} \leq s_n \leq S_{\text{кр}} \wedge v_n < v_{n-1} \\ \sqrt{(v_n)^2 + 2 \cdot 120 \cdot \Delta s \cdot (f(v_n, n) - icp_n)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$t_{n+1} := t_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n}$$

Розрахунок часу руху перегонном

$$T_{\text{хода}} := \max(t)$$

Час ходу по ділянці складає, хв

$$T_{\text{хода}} = 94.773$$

$$t_{\text{graf}_{n+1}} := \begin{cases} t_{\text{graf}_n} \leftarrow 0 & \text{if } t_{\text{graf}_n} \geq 100 \\ t_{\text{graf}_n} + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 600}{v_{n+1} + v_n} \end{cases}$$

Розрахунок витрат палива

$$t_{n+1} := \begin{cases} t_n \\ \left(t_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n} \right) & \text{if } f(v_n, n) = fT(v_n) \\ \left(t_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n} \right) & \text{if } f(v_n, n) = fT(v_n) \end{cases}$$

$$tT := \max(t)$$

$$tT = 11.731$$

$$tX := T_{\text{хода}} - tT$$

$$tX = 83.041$$

$$E := G \cdot tT + g_x \cdot tX$$

$$e_{\text{м}} := \frac{E \cdot 10^4}{Q \cdot s_N}$$

$$e_y := e \cdot 1.43$$

$$E = 118.011$$

Сумарні витрати палива за поїздку, кг

Питомі витрати палива, кг/10⁴ ткм брутто

Питомі витрати умовного палива, кг/10⁴ ткм брутто

$$e = 4.959$$

$$e_y = 7.091$$

$$E1_{n+1} := \begin{cases} E1_n & \\ \left(E1_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n} \cdot 0.17 \right) & \text{if } u_n = 0 \\ \left(E1_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n} \cdot 0.47 \right) & \text{if } u_n = 0.1 \\ \left(E1_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n} \cdot 1.57 \right) & \text{if } u_n = 0.2 \vee u_n = 0.3 \\ \left(E1_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n} \cdot 2.62 \right) & \text{if } u_n = 0.4 \\ \left(E1_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n} \cdot 3.61 \right) & \text{if } u_n = 0.5 \vee u_n = 0.6 \\ \left(E1_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n} \cdot 5 \right) & \text{if } u_n = 0.7 \\ \left(E1_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n} \cdot 6.85 \right) & \text{if } u_n = 0.8 \\ \left(E1_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n} \cdot 9.21 \right) & \text{if } u_n = 0.9 \\ \left(E1_n + \frac{2 \cdot \Delta s \cdot 60}{v_{n+1} + v_n} \cdot 10.59 \right) & \text{if } u_n = 1 \end{cases}$$

$$E1T := \max(E1)$$

Сумарні витрати за поїздку, л

$$E1T = 257.093$$

Сумарні витрати за поїздку, кг

$$E1 := E1T \cdot 0.853$$

$$E1 = 219.3$$

Питомі витрати палива, кг/10⁴ ткм брутто

Питомі витрати умовного палива, кг/10⁴ ткм брутто

$$e1 := \frac{E1 \cdot 10^4}{Q \cdot s_N}$$

$$e1 = 9.215$$

$$S_{rex} :=$$

	0
0	0
1	0.012
2	0.05
3	0.118
4	0.222
5	0.25
6	0.316
7	0.426
8	0.705
9	...

$$V_{rex} :=$$

	0
0	0
1	5
2	10
3	15
4	20
5	21.096
6	25
7	30
8	38.714
9	...

$$S_{oex} :=$$

	0
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	...

V_oex :=

	0
0	30
1	38
2	39
3	41
4	40
5	41
6	36
7	32
8	18
9	...

h_ex :=

	0
0	0
1	0
2	-2.229
3	-2.229
4	-5.309
5	-4.824
6	-1.665
7	-0.09
8	3.811
9	...

s_ex :=

	0
0	0
1	0.25
2	0.705
3	1.06
4	1.5
5	2.47
6	3.64
7	4.39
8	5.22
9	...

ДОДАТОК Е

Акти впровадження

ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор Української державної
академії залізничного транспорту
В.М. Астахов

Матеріали

про впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи
Іванченка Дмитра Анатолійовича

Акт складено про те, що результати дисертаційної роботи були використані в учбовому процесі кафедри «Експлуатація та ремонт рухомого складу» Української державної академії залізничного транспорту у наступному вигляді:

- 1) методики й моделі прогнозування характеристик тепловозів при проведенні приймальних випробувань;
- 2) експериментальних даних проведених випробувань тепловозів;
- 3) програмного забезпечення.

Використання даних результатів дозволяє:

- підвищити методичний рівень викладання курсів «Методологія інженерної і наукової роботи» та «Випробування нового та модернізованого тягового рухомого складу»;
- проводити лабораторні роботи, курсове та дипломне проектування з використанням розроблених моделей та методів із застосуванням сучасних програмних засобів;
- проводити експериментальні дослідження з метою подальшого впровадження на виробництві.

Декан механічного факультету

A handwritten signature in black ink, which appears to be "О.В. Устенко".

О.В.Устенко

Від Української державної академії
залізничного транспорту

Від Державної адміністрації
залізничного транспорту України

УЗГОДЖЕНО:

Перший Проректор УкрДАЗТ



В. М. Астахов

2011 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:

Заступник Начальник Головного
управління локомотивного
господарства "Укрзалізниці"



С. Батюшин

2011 р.

Акт

Про впровадження результатів роботи Іванченка Д.А. згідно з договорами про науково-технічне співробітництво між Українською державною академією залізничного транспорту (УкрДАЗТ) та Державною адміністрацією залізничного транспорту «Укрзалізняця» (2007-2011 рр.), які увійшли в його дисертаційну роботу.

Складений комісією в складі:

Голова комісії:

Заступник начальника управління
енергозбереження та ефективності
використання енергоресурсів —
начальник відділу енергозбереження
Головного управління локомотивного
господарства

В. Ф. Кулешова

Члени комісії:

Заступник начальника управління —
начальник відділу Головного
управління локомотивного
господарства

В. І. Шибєр

Головний фахівець відділу організації
ремонт ТРС Головного управління
локомотивного господарства

О. В. Камчатний

Завідувач кафедри "Експлуатація та
ремонт рухомого складу" УкрДАЗТ,
д.т.н., професор

Е. Д. Тартаковський

Аспірант кафедри "ЕРРС" УкрДАЗТ

Д. А. Іванченко

Комісія визначили фактичне впровадження наступних результатів роботи аспіранта Іванченка Д.А. в період з 2007 по 2011 рр.:

- модель розрахунку параметрів енергетичного ланцюга тепловоза при різних режимах експлуатації;
- методики визначення характеристик системи автоматичного керування тепловоза;
- модель розрахунку економічної ефективності для тепловозів з різними системами автоматичного керування з урахуванням даних випробувань.

Основою для впровадження розробок є тематичні плани Укрзалізниці та договори про науково-технічне співробітництво з УкрДАЗТ починаючи з 2007 р.

Місце впровадження – залізниці України.

В результаті впровадження вищевказаних робіт очікується:

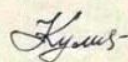
- скорочення середньо експлуатаційної витрати палива тепловозами;
- скорочення часу та витрат на проведення реостатних випробувань;
- підвищення надійності тепловозів.

Висновки і рекомендації про подальше використання розробок: рекомендувати для подальшого використання проектними, конструкторськими, випробувальними і експлуатаційними організаціями на магістральному і промисловому транспорті.

Акт складений в чотирьох екземплярах:

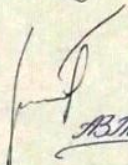
екз. №1 – Державна адміністрація залізничного транспорту України;
екз. №2 – Українська державна академія залізничного транспорту;
екз. №3, №4 – аспірант Іванченко Д.А.

Голова комісії

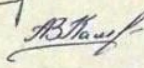


В. Ф. Кулешова

Члени комісії



В. І. Шиббер



О. В. Камчатний



Е. Д. Тартаковський

Д. А. Іванченко



ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО

«УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»

РЕГІОНАЛЬНА ФІЛІЯ «ЛЬВІВСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»

вул.Гоголя, 1, м.Львів, 79007, тел.: (+380 32) 226-44-00, 297-10-12, 226-44-90

e-mail: contract@railway.lviv.ua http://railway.lviv.ua

«12» вересня 2016 р.

№ 108-УЗ-1-2016

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. начальника Регіональної філії

«Львівська залізниця»

Публічного акціонерного товариства

«Українська залізниця»



І.С. Груник

«12» вересня 2016 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи Іванченка Д.А. на тему
**«Удосконалення методів визначення обсягів приймальних випробувань
 модернізованих тепловозів»**

Наступні результати роботи асистента Іванченка Д.А. згідно з договорами про науково-технічне співробітництво між Українським державним університетом залізничного транспорту (УкрДУЗТ) і Регіональною філією «Львівська залізниця» Публічного акціонерного товариства «Українська залізниця» (2010-2013 рр.), які увійшли в його дисертаційну роботу:

- метод визначення обсягів випробувань при проведенні приймальних випробувань модернізованих тепловозів;
- методики прогнозування характеристик тепловозу М62 при проведенні приймальних випробувань;

010539

Основою для впровадження розробок є тематичні плани Публічного акціонерного товариства «Українська залізниця» та договори про науково-технічне співробітництво з УкрДУЗТ починаючи з 2010 р.

Місце впровадження – Регіональна філія «Львівська залізниця» Публічного акціонерного товариства «Українська залізниця».

В результаті впровадження вищевказаних робіт очікується:

- удосконалення програм випробувань модернізованих тепловозів;
- скорочення часу та витрат на проведення приймальних випробувань модернізованих тепловозів.

Очікуваний економічний ефект від впровадження даних розробок складе близько 1 млн. грн.

Висновки і рекомендації про подальше використання розробок: рекомендувати для подальшого використання проектними, конструкторськими, випробувальними і експлуатаційними організаціями на магістральному і промисловому транспорті.

Акт складений в чотирьох екземплярах:

екз. №1 – Регіональна філія «Львівська залізниця» Публічного акціонерного товариства «Українська залізниця»;

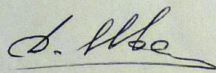
екз. №2 – Українська державний університет залізничного транспорту;

екз. №3, №4 – асистент Іванченко Д.А.

Головний інженер – перший заступник
начальника регіональної філії

3.3. Заньків

Асистент Українського державного
університету залізничного транспорту



Д.А. Іванченко