

Міністерство освіти і науки України  
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Клецька Ольга Віталіївна

УДК: 629.424.1

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ  
ЗА РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Сєверодонецьк – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор  
Фалендиш Анатолій Петрович,  
Український державний університет залізничного  
транспорту, кафедра теплотехніки, теплових  
двигунів та енергетичного менеджменту, завідувач  
кафедри

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

кандидат технічних наук  
Дробаха Володимир Ілліч,  
ПрАТ Київ-Дніпровське МППЗТ, начальник  
відділу експлуатації

Захист відбудеться «06» грудня 2019 р. о 12-30 годині на виїзному засіданні спеціалізованої вченої ради Д 29.051.03 при Східноукраїнському національному університеті імені Володимира Даля за адресою: 03049, м. Київ, вул. Івана Огієнка, 17, Державний університет інфраструктури та технологій, аудиторія № 6 а.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля за адресою: 93400, м. Северодонецьк, пр. Центральний, 59а.

Автореферат розісланий «05» листопада 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.С. Ноженко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Зі зростанням тенденції мобільності людського населення та підвищення вантажоперевезень, транспортні засоби стикаються з проблемою дефіциту первинних енергоресурсів. На сьогоднішній день, аналіз локомотивного парку України показав гостру необхідність його оновлення, що можна виконати двома шляхами: закупівля нових локомотивів, ціна на які є дуже високою, або модернізацією існуючого парку рухомого складу.

За останні роки проводиться активна робота по модернізації тепловозів на залізницях та промислових підприємствах України. Необхідність підвищення ефективності експлуатації рухомого складу мотивує до пошуку інноваційних рішень під час процесу модернізації. Тепловози потребують більшої ефективності та кращої адаптації до альтернативних джерел енергії, використання яких вирішує питання дефіциту первинних енергоресурсів та підвищує екологічні показники дизельної тяги.

Аналіз витрат палива тепловозами в залежності від виду виконуваних ними робіт показав, що велика частина палива витрачається маневровими тепловозами. Тим самим аналіз роботи маневрових тепловозів показав, що більшу частину вони працюють в режимі холостого ходу (55%), 43% всього часу працюють на перехідних режимах і до 2% - у номінальному режимі. Таким чином, немає необхідності використовувати на маневрових тепловозах потужні дизель-генераторні установки. Тому використання сучасних технічних засобів та технологій в конструкціях рухомого складу для енергозбереження є проблемою актуальною та своєчасною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота пов'язана з програмними завданнями щодо удосконалення конструкції маневрових тепловозів шляхом їх модернізації і виконувалася за планами науково-дослідних робіт на замовлення Укрзалізниці, промислових підприємств за завданнями, що видані Українському державному університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ), за темами «Розробка методик випробувань по визначенню повної потужності дизеля та питомих витрат палива модернізованого тепловозу ЧМЕЗ потужністю 970 кВт, участь у випробуваннях та обробка їх результатів» (ДР № 0114U004764); «Розробка методики випробувань по визначенню викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами дизеля модернізованого маневрового тепловозу ЧМЕЗ потужністю 970 кВт, участь у випробуваннях та обробка їх результатів» (ДР № 0115U002087); «Визначення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами дизеля тепловозів ЧМЕЗ (з двох тепловозів) та складання екологічного паспорту на один тепловоз» (ДР № 0117U004212); «Оцінка впливу паливної добавки DFC2020 на паливну економічність та викиди забруднюючих речовин дизелів» (г/т 70/8-2018). Автор є відповідальним виконавцем та співвиконавцем зазначених науково-дослідних робіт.

**Мета і задачі дослідження.** Мета роботи полягає в підвищенні ефективності використання модернізованих маневрових тепловозів за рахунок удосконалення їх конструкції сучасними технічними засобами та технологіями для енергозбереження.

Для досягнення сформульованої мети роботи необхідно було вирішити наступні задачі:

- провести аналіз парку маневрових локомотивів щодо витрати ними палива, впливу на навколишнє середовище з врахуванням режимів їх роботи;
- виконати огляд наукових та практичних праць в області підвищення ефективності використання маневрових тепловозів за рахунок конструктивних змін та зменшення ними викидів шкідливих речовин;
- розробити модель оцінки вибору енергозберігаючого заходу при модернізації конструкції маневрових тепловозів;
- розробити функціональну модель роботи маневрового тепловозу модернізованого шляхом використання технічного засобу для енергозбереження;
- розробити модель для визначення раціональних еколого-енергетичних характеристик маневрового тепловозу, що модернізований технічним засобом для енергозбереження;
- визначити ефективність використання маневрових тепловозів, конструкція яких удосконалена за рахунок впровадження сучасних енергозберігаючих технологій.

**Об'єкт дослідження** – процес проектування та розрахунку характеристик маневрових тепловозів

**Предмет дослідження** – методи та моделі визначення техніко-економічних показників маневрових тепловозів

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених в роботі завдань застосовувалися: метод спостереження (хронометражу) для визначення викидів забруднюючих речовин та питомих витрат палива; теоретичного, емпіричного дослідження при оцінці екологічних характеристик тепловоза; теорії конструкції локомотивів та теорії локомотивної тяги під час визначення техніко-економічних та конструкційних показників маневрового тепловозу; метод адаптивної оптимізації при розробленні моделі та визначенні енергозберігаючого заходу при модернізації тепловозу екологічною силовою установкою; математичного моделювання, з використанням програмного комплексу на базі персональної ЕОМ, та системний підхід для створення математичної моделі визначення техніко-економічних та конструкційних показників шестиосного маневрового тепловозу з гібридною силовою установкою.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання удосконалення конструкції маневрового тепловозу шляхом впровадження сучасних технічних засобів для енергозбереження за рахунок вибору їх раціональних параметрів по

розробленим методам та моделям. При цьому було отримано наступне:

- побудовано залежності потужності обраної силової установки від енергоємності накопичувачів енергії з відповідними обмеженнями і вартісних показників модернізації для заданого режиму роботи з врахуванням викидів забруднюючих речовин;
- формалізовано технологію удосконалення конструкції маневрового тепловозу на основі розробленої удосконаленої моделі гібридного локомотиву, яка дозволяє визначити його техніко-економічні характеристики шляхом використання оптимізаційних методів і гнучкого вирівнювання значень вихідних параметрів в частині врахування викидів забруднюючих речовин силовою енергетичною установкою, та типу накопичувача енергії;
- запропонована модель визначення заходу удосконалення конструкції локомотиву при його модернізації з врахуванням екологічної складової силової енергетичної установки;
- удосконалена модель для визначення раціональних параметрів гібридної силової установки шляхом врахування конструкції локомотива, умов експлуатації та її екологічних показників;
- удосконалено підходи по оцінці ефективності заходу по модернізації за рахунок удосконаленого підходу по визначенню технічного рівня конструкції маневрових тепловозів в частині обґрунтування номенклатури показників, що характеризують гібридний привід з врахуванням екологічних показників.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Матеріали дисертаційної роботи можуть бути використані при розробці та модернізації маневрових тепловозів, заснованих на гібридних технологіях з використанням сучасних енергозберігаючих засобів та технологій. Впровадження вибраних заходів дозволить зменшити витрати палива та викиди шкідливих речовин до атмосфери. Розроблені моделі можуть бути використані при прогнозуванні типу і структури парку маневрових тепловозів на початкових етапах їх проектування, а також під час проведення їм модернізації.

Основні наукові результати щодо визначення технічного рівня гібридного тепловоза, оцінки ефективності від впровадження на маневровому тепловозі гібридної силової установки та наведений комплекс моделей можуть бути використані Департаментом локомотивного господарства «Укрзалізниця» при розробці технічних рекомендацій до нових маневрових тепловозів. Також вони використовуються у навчальному та науковому процесі Українського державного університету залізничного транспорту при проведенні занять у групах факультету підвищення кваліфікації кадрів, підготовці бакалаврів та магістрів.

Частина результатів роботи впроваджено в АТ «Техностандарт» та в навчальну та наукову роботу Українського державного університету залізничного транспорту.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційних досліджень отримані автором самостійно. В працях з співавторами особистий внесок автора полягає в наступному:

[2, 3, 4, 5, 10, 23] – аналіз шляхів енергозбереження на залізничному транспорті при модернізації маневрових тепловозів;

[7, 11, 15, 16, 24] – розроблення моделей та розрахунки показників економічної ефективності від використання маневрового тепловозу та його складових;

[6, 8, 9, 19, 22] – зроблений аналіз сучасного стану визначення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами дизелів тепловозів;

[12, 13, 14, 26] – розроблення методів, моделей та програм розрахунку технічного рівня гібридного локомотиву з урахуванням екологічних показників;

[20, 27] – визначення алгоритму випробувань маневрового тепловозу з урахуванням екологічних показників;

[21, 25] - оцінка технічної експлуатації тягового рухомого складу.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення й результати дисертаційної роботи доповідались на:

Восьмій науково-практичній конференції «Енергетична безпека на транспорті: Підвищення енергоефективності, зниження залежності від природного газу» (м. Київ –Одеса, 2014 р.);

II Другій Міжнародній науково-технічній конференції «Локомотиви. XXI век.» (м. Санкт-Петербург, 2014 р.);

Міжнародній науково-практичній конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» (м. Трускавець –Севєродонецьк, 2016 р.);

VII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспорту і логістики» (м. Севєродонецьк-Одеса, 2017 р.);

Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospect (Dresden (Germany) – Paris (France) - Severodonetsk (Ukraine), 2017);

Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування. CEUTTOO-2017» (м. Херсон, 2017 р.);

30 міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», (м. Харків, 2017 р.);

Міжнародній науково-практичній конференції «Технологія та інфраструктура транспорту» (м. Харків, 2018 р.);

78 міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпро, 2018 р.);

XI th International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer (Cracow, Poland, 2018).

Робота в повному обсязі доповідалась на розширеному засіданні кафедри теплотехніки та теплових двигунів галузевої науково-дослідної лабораторії підвищення паливно-експлуатаційної економічності та покращення екологічних показників дизельної тяги Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) (м. Харків, 2018 р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 28 наукових праць, з них 10 статей у фахових виданнях, затверджених МОН України, 6 статей у періодичних виданнях, які індексуються в Scopus або Web of Science, 12 праць апробаційного характеру.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 183 сторінки тексту, з яких 122 сторінки основного тексту. Робота включає також 12 ілюстрацій та 13 таблиць по основному тексту, список використаних джерел складається із 158 найменувань та 5 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, показано її зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету й завдання дослідження, представлено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

**Перший розділ** присвячено огляду літератури за темою дисертації та обґрунтуванню вибору напрямів необхідних досліджень. Виконаний аналіз парку тепловозів залізниць України та промислового транспорту, проаналізовані дослідження в області використання гібридного приводу на залізничному транспорті та вирішення основних їх проблем в дослідженнях науковців різних видів транспорту.

Аналіз парку тепловозів Укрзалізниці показав, що його фізичний знос складає понад 98%, а його оновлення в необхідних обсягах за останні десятиліття не було виконано. Це призводить до перевитрат палива локомотивами в експлуатації. Лише в 2018 році закуповується партія з 30 сучасних магістральних локомотивів 2TE33, які теж в повному обсязі не вирішують цю проблему. По маневровому парку тепловозів ситуація ще гірша. Аналогічна ситуація по тяговому рухомому складі і в промисловому транспорті, де в переважній кількості використовуються тепловози. Аналіз надійності конструкції маневрових тепловозів та їх стану показав, що при проведенні відповідних заходів по продовженню строку служби головних рам локомотивів та рам візків, можлива їх подальша експлуатація до 25 років понад нормативний термін. Тому роботи, які направлені на модернізацію тепловозів сучасними дизельними двигунами з технічними засобами для енергозбереження являються актуальними, як для

Укрзалізниці, так і для промислового транспорту.

Аналіз маневрових тепловозів з гібридною передачею показав, що їх різноманіття не дуже велике. В основному використовують в якості гібридної силової установки дизель та накопичувач енергії на базі акумуляторних батарей. Але через велику вартість накопичувачів енергії та великих габаритних розмірів їх використання є обмеженим. Цей тип рухомого складу з гібридною силовою установкою використовується для виконання легких робіт на простому профілі шляху.

Як показали дослідження вчених та працівників транспорту, маневрові тепловози понад 50% часу працюють в режимі холостого ходу. При цьому питомі викиди забруднюючих речовин є найбільшими. Тому впровадження сучасних енергетичних установок, а особливо тих, що мають технічні засоби для енергозбереження, при модернізації тепловозів, є актуальним питанням і з точки зору екології.

Питанню визначення основних техніко-економічних показників тепловозів приділяють багато уваги в наукових закладах та на промислових підприємствах по виробництву та ремонту рухомого складу. Це такі вчені з України та країн зарубіжжя: Басов Г.Г., Боднар Б.Є., Буряковський С.Г., Голубенко О.Л., Горбунов М.І., Горобець В.Л., Калабухін Ю.Є., Капиця М.І., Кельрих М.Б., Косов Є.Є., Маслієв В.Г., Носков В.І., Сапронова С.Ю., Тартаковський Е.Д., Ткаченко В.П. та ін. Питаннями накопичувачів енергії та гібридними енергетичними установками для транспорту займалися такі вчені, як Александров В.Д., Волков В.П., Грицук І.В., Димитрова З., Донченко А.В., Жалкін С.Г., Жалкін Д.С., Панасенко М.В., Пелепейченко В.І., Сулим А.О. та інші. Екологічна та паливна проблеми тягового рухомого складу висвітлюється такими вченими, як Дробахою В.І., Зеленько Ю.В., Єроценковим С.А., Захарчуком В.І., Каграманяном А.О., Хайлісом Г.А. та ін.

Але, на жаль, деякі наукові питання використання гібридних передач при модернізації тепловозів з врахуванням екологічної складової, вибору накопичувача енергії та регіону експлуатації даними вченими або взагалі не розглядалися, або були розглянуті недостатньо повно. Тому на основі виконаного аналізу була сформульована мета дослідження та поставлені задачі для її досягнення.

**Другий розділ** присвячений розробці моделі визначення енергозберігаючого заходу при модернізації маневрових тепловозів із врахуванням екологічної складової.

Усі заходи по підвищенню ефективності використання маневрових тепловозів та зменшенню витрат на штрафи по викидам шкідливих речовин від них, з використанням експертних методів, були розділені на дві основні групи: організаційно-технологічні та конструкційні. Вони представляють собою наступний масив даних  $Z$ ,

$$Z = (z_{11}, z_{12}, z_{13}, z_{14}, z_{21}, z_{22}, z_{23}, z_{24}), \quad (1)$$



де  $z_{11}$  – вибір раціональних режимів роботи локомотиву;  $z_{12}$  - розробка раціональних нормативних документів;  $z_{13}$  - використання компонентів, які покращують екологічні показники дизеля;  $z_{14}$  - підвищення якості ремонту локомотива та його вузлів;  $z_{21}$  - модернізація локомотива новими енергетичними установками;  $z_{22}$  - модернізація локомотиву елементами енергозберігаючих пристроїв;  $z_{23}$  - використання різних типів каталізаторів;  $z_{24}$  - удосконалення конструкції дизелів та його систем.

Для визначення впливу терміну служби локомотива та його технічного стану на еколого-енергетичні показники було проведено ряд екологічних випробувань тепловозів. Визначення викидів шкідливих речовин та паливо-енергетичних показників виконувались як на нових тепловозах (тепловози ЧМЕЗМ з дизелем САТ), так і на старих (тепловози ЧМЕЗ з дизелем К6S310DR і ТГМ4А з дизелем Д 211). Результати випробувань представлені на рисунку 1 і показують, що дизелі, які відносяться до другого покоління і мають великий термін експлуатації, відповідно мають і граничні показники по викидам.

За отриманими даними екологічних випробувань були визначені екологічні показники по різних нормативним документам та методикам, які діють в Україні та інших країнах. Результати розрахунків представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків екологічних показників по різних нормативним документам

Нормативний документ		Оксиди азоту	Оксиди вуглецю	Вуглеводні
ГСТУ 32.001-94:	Розрахунок	10,778	12	4,5
	Норма	18	1,306	0,246
НД1 50953-96	Розрахунок	0,036	0,028	0,002
	Норма	0,06	0,045	-
НД2 50953-2008	Розрахунок	0,036	0,028	0,002
	Норма	0,03	0,02	0,010
НД3 31967-2012	Розрахунок	11,7	7,6	0,92
	Норма	7,4	1,5	0,4

Найбільш лояльними по визначенню викидів шкідливих речовин є нормативні документи України (ГСТУ-32.001-94 зі змінами). Тому корегувати даний документ в сторону зміни екологічних показників не має сенсу. Це визиває необхідність в розробці інших методів по зменшенню штрафів за викиди шкідливих речовин від тепловозів.

Одним із них є використання різних типів накопичувачів (хімічні, електричні, механічні, теплові та ін.) на рухомому складі. На даний момент із них доцільно використовувати хімічні - акумулятори. Розрахунки за основними енергетичними показниками для цих видів накопичувачів енергії показали доцільність їх використання на маневрових тепловозах.

Виконані дослідження показали, що енергетичні установки тепловозів, на яких використовуються дизелі другого покоління потребують

їх заміни на нові, або використання сучасних енергоефективних заходів на базі накопичувачів енергії, або те і інше.

Кожний з визначених заходів має наступний масив критеріїв при його впровадженні:

$$z_{ij} = \{a_{ij1}, a_{ij2}, a_{ij3}, a_{ij4}, a_{ij5}\}, \quad (2)$$

де  $a_{ij1}$  - екологічний критерій;  $a_{ij2}$  - вартість модернізації;  $a_{ij3}$  - витрати на експлуатацію;  $a_{ij4}$  - ефект від впровадження;  $a_{ij5}$  - тривалість впровадження.

Вибір оптимального рішення по вибору заходу модернізації є багатокритеріальним завданням. Його вирішення пов'язано з процедурою утворення узагальненої функції  $F_i(a_{i1}; a_{i2}; \dots; a_{im})$ , яка монотонно залежить від критеріїв  $a_{i1}; a_{i2}; \dots; a_{im}$ . Дана процедура представляє собою метод згортання критеріїв.

З використанням методу адитивної оптимізації був визначений масив вагомості заходу по підвищенню ефективності використання маневрових тепловозів в експлуатації  $KZ$ ,

$$KZ = (0,5; 0,1; 0,4; 0,5; 0,2; 0,7; 0,3; 0,4).$$

З результатів розрахунків видно, що найбільший коефіцієнт мають заходи, які направлені на модернізацію локомотиву елементами енергозберігаючих пристроїв, тобто використання дизельних енергетичних установок з елементами накопичувачів енергії та систем управління ними.

**Третій розділ** дисертації присвячено розрахунковій моделі визначення техніко-економічних та конструктивних характеристик маневрового тепловозу з гібридною передачею.

Для визначення раціональних параметрів гібридної передачі і локомотива в цілому була розроблена відповідна модель. В результаті аналізу різних видів схем гібридних силових установок з врахуванням особливостей маневрових тепловозів та умов їх експлуатації для маневрової роботи була вибрана схема, силовий ланцюг якої представлений на рисунку 1.

В загальному вигляді потужність гібридної силової установки  $N_{gey}$  представлена наступним чином,

$$N_{gey} = f(N_{\partial g}, N_{ne}, E_{ne}, \lim_{i,j}, M_{pred}, V_{pred}, K_{zav}, U_{zag}, I, K_{vzr}), \quad (3)$$

де  $N_{\partial g}$  - потужність дизеля, кВт;  $N_{ne}$  - потужність накопичувача енергії, кВт;  $E_{ne}$  - енергоємність накопичувача енергії, кДж;  $\lim_{i,j}$  - обмеження по довжині накопичувача енергії, м;  $j$  - кількість елементів накопичувачів енергії;  $K_{zav}$  - коефіцієнт завантаження локомотива.

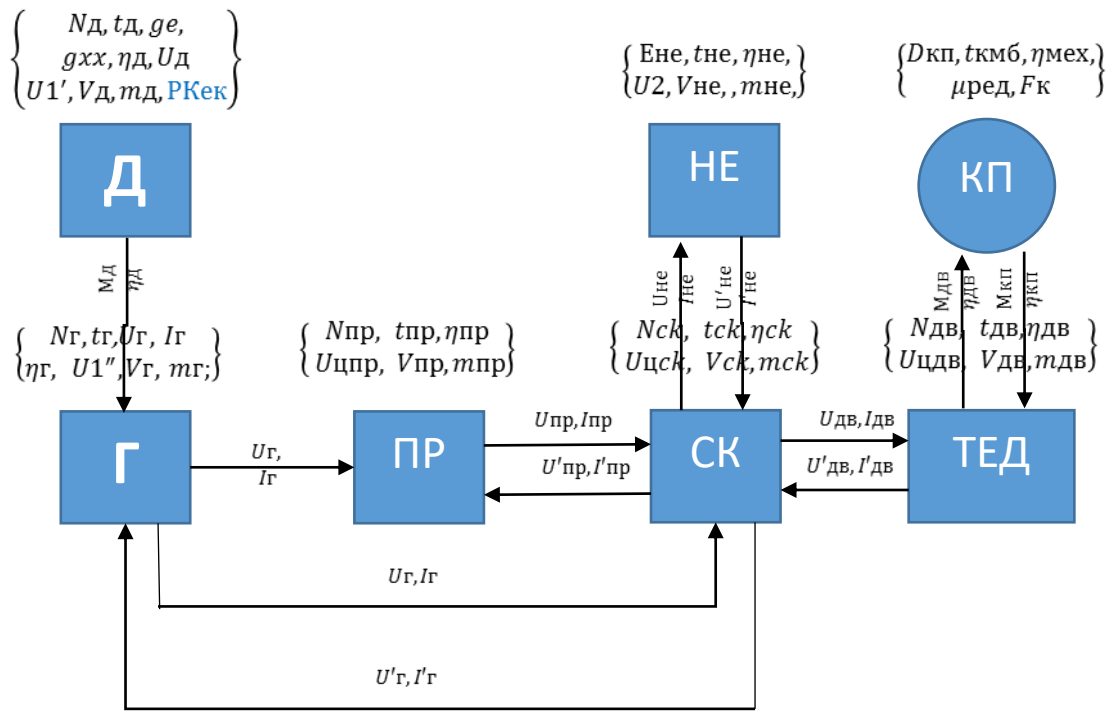


Рисунок 1 – Функціональна схема силового ланцюга маневрового тепловоза з гібридною передачею

Виходячи з європейського досвіду екологічного оподаткування в цільову функцію по визначенню техніко-економічних показників локомотиву було включено відшкодування за екологічні збитки, крім врахованих раніше, вартості накопичувачів енергії та витрат на обслуговування і ремонт. Також слід враховувати, що на параметри накопичувача енергії можуть впливати його обмеження за масогабаритними параметрами. В загальному вигляді цільова функція описується наступним чином:

$$\begin{cases} C_{zag} = f(C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5) \rightarrow \min, \\ \Delta V_{lim} = f(E_{ne}, l_{ne}, b_{ne}, h_{ne}, j) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (4)$$

де  $C_0$  – вартість старого дизель-генератора, грн.;  $C_1$  – вартість дизель-генератора, грн.;  $C_2$  – вартість накопичувачів енергії, грн.;  $C_3$  – витрати на паливо після модернізації, грн.;  $C_4$  – витрати на обслуговування та ремонт, грн.;  $C_5$  – витрати на штрафні санкції по екології, грн.;  $\Delta V_{lim}$  – недовикористаний вільний простір локомотива, що має займатись накопичувачами енергії,  $m^3$ ; - відповідно довжина, ширини та висота одного елемента накопичувача енергії, м.

Витрати на штрафні санкції по екології визначаються за формулою, грн:

$$C_5 = \sum (C_{5i} \cdot \sum g_{ik} \cdot \tau_k \cdot T_{пр}^{10} \cdot K_f \cdot K_T),$$

де  $T_{\text{пр}}^{10}$  – сумарний час роботи тепловоза за 10 років, год.

Цільову функцію з врахуванням обмежень на накопичувачі енергії, енергетичну установку та екологічні викиди в явному виді було представлено наступним чином,

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{\text{zag}} = C_0 + A \cdot N_{\text{д}}^2 + B \cdot N_{\text{д}} + C + u_2 \cdot E_{\text{не}} + \\ + \left[ \sum_{i=1}^n (N_{f_i} \cdot g_{e0} \cdot \Delta\tau / 3600) - \sum_{i=1}^n G_{i,j} \right] \cdot ct - (1 - k(N_{\text{eng}_j})) C_{\text{б}} + \\ + \sum (C_{5i} \cdot \sum g_{ik} \cdot \tau_k \cdot T_{\text{пр}}^{10} \cdot K_f \cdot K_T) \rightarrow \min, \\ \Delta V_{\text{lim}} = k_v \cdot E_{\text{не}} \rightarrow \min. \end{array} \right. \quad (5)$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – коефіцієнти, які характеризують дизельну енергетичну установку;  $N_{\text{д}}$  – потужність дизельної енергетичної установки, кВт;  $u_2$  – питома вартість накопичувача енергії, грн/кВтгод;  $ct$  – вартість палива, грн/кг;  $g_{e0}$  – питома витрата палива дизелем базового локомотива, кг/кВт·год;  $G_{i,j}$  – витрати палива гібридним тепловозом, кг; де  $C_{\text{б}}$  – витрати на технічне обслуговування і ремонт базового тепловоза, грн.;  $k(N_{\text{eng}_j})$  – коефіцієнт відношення витрат на технічне обслуговування і ремонт гібридного тепловоза до базового залежно від потужності обраної дизель-генераторної установки;  $k_v$  – коефіцієнт недовикористаності вільного простору локомотива, що має займатись накопичувачами енергії, м<sup>3</sup>/МВтгод. Коефіцієнт обирається в залежності від типу локомотиву, габаритних розмірів елементів накопичувача енергії та його необхідної енергоемності.

Для моделі були встановлені граничні значення параметрів:  $N_{f_j} \in [0 \dots N_{f_{\text{max}}}]$ ,  $N_{\text{eng}_j} \in [0 \dots N_{f_{\text{max}}}]$ ,  $N_{\text{уст}_j} \in [0 \dots N_{f_{\text{max}}}]$ ,  $E_{1,j} = E_0 = 0$ ,  $E_{\text{не}} \in [0 \dots E_{\text{m}_{\text{max}}}]$ ,  $E_{\text{не}} \in [0 \dots E_{\text{v}_{\text{max}}}]$ , де  $E_{\text{m}_{\text{max}}}$ ,  $E_{\text{v}_{\text{max}}}$  – максимальні значення енергоемності за масою і об'ємом для певного маневрового тепловозу.

Для визначення техніко-економічних характеристик маневрового тепловоза із гібридною силовою установкою було складено процедуру, алгоритм, а на їх основі програму розрахунку.

Удосконалено модель по визначенню основних параметрів передачі потужності маневрового тепловоза із гібридною силовою установкою для роботи в маневровому русі, яка відрізняється від існуючих тим, що при використанні накопичувача енергії, його потужність  $N_{\text{не}}$  використовується для тяги двигунів до 3 позиції контролера машиніста. Зарядження його при цьому виконується при необхідності на 6 п.к.м. При використанні потужності більше 4 п.к.м., маневровий тепловоз починає працювати по звичайній схемі. За необхідності потужність накопичувача енергії  $N_{\text{не}}$  додається до потужності дизель-генератора  $N_{\text{дг}}$  і сумарна потужність  $N_{\text{геу}}$  підводиться до тягових двигунів, кВт,

$$N_{\text{геу}} = N_{\text{не}} + N_{\text{дг}}. \quad (6)$$

Розроблені моделі було перевірено на адекватність. При цьому похибка склала близько 6 %.

**В четвертому розділі** визначені основні техніко-економічні параметри для шестиосного маневрового тепловозу з врахуванням вибраних сучасних енергозберігаючих технологій.

За даними наукових досліджень та експлуатації серійних шестиосних маневрових тепловозів з врахуванням обмежень (масо-габаритних показників і за умови обмеження вільного простору тепловозу) було розраховано граничну енергоємність різноманітних накопичувачів енергії. Ємність накопичувача енергії обрана такою, щоб її вистачало на роботу тепловоза, яка є еквівалентною до його роботи на 1- 3 позиціях контролера машиніста. Побудовано залежності потужності гібридної силової установки локомотиву для кожної позиції контролера машиніста тепловозу.

Розраховано загальні витрати, пов'язані із модернізацією *Czag*, грн. Визначено, що враховуючи обмеження, які накладаються на накопичувач енергії, мінімальні витрати на модернізацію спостерігаються для потужності дизель-генератора 360 кВт і енергоємності накопичувача енергії близько 600 кВтгод. Виконані розрахунки параметрів модернізованого маневрового тепловозу з гібридною енергетичною установкою для виконання маневрових робіт локомотивом.

Виконані розрахунки витрат за життєвий цикл модернізованих локомотивів гібридною енергетичною установкою (два варіанти) та базового тепловозу ЧМЕЗ показав наступне. Витрати на штрафи по викидам в базового тепловозу ЧМЕЗ більш ніж на 40% перевищують їх ніж, у тепловоза з базовим двигуном та накопичувачем енергії і майже на 75% їх у модернізованого тепловозу з новою енергетичною установкою та накопичувачем енергії.

Аналогічно, витрати за життєвий цикл для модернізованих тепловозів показали, що доцільно виконувати глибоку модернізацію маневрового тепловозу новим дизелем та накопичувачем енергії. Але за менших витрат, тобто установка лише накопичувачів енергії та ремонт базового дизеля, також буде спостерігатись позитивний ефект, витрати будуть меншими на 12%.

За результатами розрахунків обрано відповідні параметри модернізованих маневрових локомотивів при енергоємності накопичувача енергії 600 кВтгод оптимальна потужність дизель-генератора буде складати в межах: для маневрової роботи 250 кВт; для вивізної - 800 кВт; для роботи на гірці - 300 кВт. За результатами тягових розрахунків для вивізної роботи, витрати палива гібридним локомотивом в порівнянні із базовим було зменшено до 30%.

Проведено розрахунки життєвого циклу гібридного тепловозу на базі ЧМЕЗ і базового локомотиву на період 20 років – час від модернізації (чи капітального ремонту) локомотива до повного виведення його з експлуатації. Таким чином, при використанні гібридного тепловоза на базі

ЧМЕЗ, за час експлуатації сумарний економічний ефект від одного тепловоза становитиме 3,5 млн. грн.

Коефіцієнт ефективності використання маневрового тепловозу пропонується визначати з врахуванням технічної, економічної та екологічної складових за формулою

$$K_{ef} = K_1 \frac{\sum_{i=1}^{i=s} k_n \varphi(i)}{\sum_{i=1}^{i=s} \varphi(i)} + K_2 \frac{LLC_{T_0}}{LLC_{T_2}} + K_3 \frac{\sum_{z=1}^n A'_z m_{\delta z}}{\sum_{z=1}^n A'_z m_{z z}}, \quad (6)$$

де  $k_n$  – відношення числових параметрів нової розробки до параметрів існуючих об'єктів для раціональних категорій і нераціональних категорій;  $\varphi(i)$  – функція, що нормує вагу параметрів у ранжируваній послідовності;  $i$  – номер параметра маневрового тепловозу;  $LLC_{T_0}$ ,  $LLC_{T_2}$  – вартість життєвого циклу відповідно базового тепловоза та модернізованого, грн.;  $A'_z$  – показник відносної активності домішок  $z$ -ого виду;  $m_{\delta z}$ ,  $m_{z z}$  – середньорічні маси забруднюючої речовини  $z$ -го виду, які потрапляють до атмосфери у році  $t$  при експлуатації відповідно базового тепловоза та модернізованого, кг/год на одну секцію;  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  – вагові коефіцієнти складових ефективності,  $\sum_{i=1}^3 K_i = 1$ . Вагові коефіцієнти складових ефективності

визначаються експертним методом в залежності від представлених задач.

Цей коефіцієнт при використанні тепловозу в маневровій роботі для базового локомотиву дорівнює  $K_e=1$ , для модернізованого тепловозу з базовим дизелем та накопичувачем енергії ємністю 600 кВтгод рівним  $K_e=1,13$ , а для модернізованого новим дизелем потужністю 250 кВт та даним накопичувачем енергії рівним  $K_e=1,4$ . Це підтверджує ефективність модернізації шестиосних маневрових тепловозів гібридною енергетичною установкою запропонованого типу.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують актуальне науково-технічне завдання – підвищення ефективності використання модернізованих маневрових тепловозів за рахунок удосконалення методів та моделей визначення та оцінки технічних параметрів їх конструкції при модернізації новими енергоефективними засобами.

На підставі отриманих результатів теоретичних і експериментальних досліджень було зроблено наступні висновки.

1. Проведений аналіз парку маневрових тепловозів АТ «Укрзалізниця» та промислового транспорту, витрат ними дизельного палива і режимів роботи в маневровому русі, який показав, що маневрові тепловози більше ніж на 98% виробили свій ресурс, їх робота характеризується різко змінним режимом, в якому силова установка працює більшу частину часу на економічно не вигідних режимах. При цьому

витрата палива має тенденцію до збільшення зі збільшення ресурсу локомотива. Тому, в якості одного із способів підвищення ефективності експлуатації тепловоза, пропонується використання гібридної енергетичної установки. Виконаний аналіз локомотивів, які мають гібридну тягу показав, що створення гібридного локомотива на базі шестиосного маневрового тепловоза з електричною передачею є доцільним рішенням.

2. Аналіз напрямків робіт наукових організацій, виробників рухомого складу та праць вчених свідчить, що для вирішення завдання визначення техніко-економічних показників тепловозів з гібридною енергетичною установкою необхідний комплексний підхід, який має пов'язувати між собою технічні параметри тепловоза, показники експлуатації і вартісні показники з врахуванням екологічної складової. Для обґрунтування вибору техніко-економічних показників тепловозів з гібридною передачею був взятий підхід, що базується на математичному моделюванні. Він дозволив обґрунтувати вибір основних техніко-економічних показників модернізованого тепловоза при найменшій вартості життєвого циклу при використанні його в маневровій роботі.

3. Розроблена модель оцінки вибору енергозберігаючого заходу при модернізації маневрових тепловозів з врахуванням екологічної складової з використанням методу адаптивної оптимізації. При цьому всі заходи були розділені на дві основні групи: організаційно-технологічні та конструкційні. В результаті розрахунків отримано, що на даний момент доцільними є заходи, які направлені на модернізацію локомотива гібридною силовою установкою.

4. Запропонована функціональна модель роботи маневрового тепловозу з гібридною енергетичною установкою, яка дозволила визначити функціональні зв'язки між елементами передачі потужності із гібридним приводом. На її основі визначено режими роботи маневрового тепловоза з гібридною енергетичною установкою.

5. Розроблена модель для визначення раціональних конструкційно-енергетичних характеристик модернізованого маневрового тепловозу з гібридною енергетичною установкою. Отримані функціональні залежності потужності дизель-генераторної установки від енергоємності накопичувача енергії для маневрової роботи тепловоза.

6. Удосконалено оптимізаційну модель нелінійного програмування з визначення раціональних техніко-економічних показників маневрового тепловоза з гібридною енергетичною установкою, яка враховує вартісні показники елементів гібридного приводу, витрати на ремонт і обслуговування, а також економічний ефект від впровадження гібридного приводу на тепловозі з врахуванням викидів шкідливих речовин. При цьому похибка розрахунків не перевищує 6%.

7. Розроблено алгоритм програми та написана програма розрахунку необхідної енергоємності накопичувача енергії та потужності силової енергетичної установки для шестиосного маневрового тепловоза.

8. Визначено технічний рівень модернізованих шестиосних маневрових тепловозів з електричною передачею. Для цього була обрана номенклатура показників, що характеризує тепловоз з гібридною енергетичною установкою і з використанням методу вагових коефіцієнтів розраховано коефіцієнт технічного рівня модернізованих шестиосних маневрових тепловозів. Результати розрахунків показали, що в порівнянні із прототипом, використання лише модернізованої схеми та накопичувача енергії дозволить збільшити його на 10%, а використання сучасного дизель-генератора меншої потужності і накопичувача енергії – на 23%. Це дозволить підвищити ефективність технічної експлуатації даного тепловозу. Розраховано показники вартості життєвого циклу маневрового тепловоза ЧМЕЗ і модернізованого на його базі гібридною енергетичною установкою. Показано, що за час експлуатації сумарний економічний ефект від одного тепловоза становитиме 3,85 млн. грн. для першого варіанту модернізації.

9. Оцінку ефективності модернізації маневрового тепловозу запропоновано визначати відповідним коефіцієнтом, який враховує технічний рівень тепловозу, витрати за життєвий цикл та екологічну складову з відповідними ваговими коефіцієнтами. Цей коефіцієнт при використанні тепловозу в маневровій роботі для базового локомотиву дорівнює  $K_e=1$ , для модернізованого тепловозу з базовим дизелем та накопичувачем енергії ємністю 600 кВтгод рівним  $K_e=1,13$ , а для модернізованого новим дизелем потужністю 250 кВт та даним накопичувачем енергії рівним  $K_e=1,4$ . Це підтверджує ефективність модернізації шестиосних маневрових тепловозів гібридною енергетичною установкою запропонованого типу.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні наукові праці, які внесені до переліку МОН України:

1. Фалендыш, А.П. Вопросы модернизации тепловозов с учетом жизненного цикла / А.П. Фалендыш, А.Л. Сумцов, О.В. Клецкая [Текст] / Локомотив-информ / Научный журнал. 2015. -№1-2 (103-104). –С.4-9.
2. Сумцов, А.Л. Повышение энергоэффективности пункта технического обслуживания локомотивов [Текст] / А.Л. Сумцов, А.Н. Белан, О.В. Клецкая // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля / Науковий журнал. –Сєверодонецьк, ПП «Поліграф-сервіс», 2015. -№1 (218). –С.21-24.
3. Фалендиш, А.П. Розробка енергозберігаючих заходів при заміні візків локомотивів [Текст] / А.П. Фалендиш, М.Ю. Кухарчук, О.В. Клецка // Зб. наук. праць. –Х: УкрДАЗТ, 2015. -Вип.152. -С.160-167.
4. Фалендиш, А.П. Атестація депо, як один із шляхів підвищення ефективності роботи моторвагонного рухомого складу [Текст] / А.П. Фалендиш, В.О. Байков, О.В. Клецка // Зб. наук. праць. –Х: УкрДАЗТ, 2015. -Вип.158. -С.153-156.



5. Підпригора, А.І. Шляхи підвищення ефективності роботи паливно-енергетичного комплексу ПАТ «Українські залізниці» [Текст] / А.І. Підпригора, О.В. Клецька, О.В. Хижа // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля / Науковий журнал. – Сєверодонецьк, ПП «Поліграф-сервіс», 2016. -№1. –С.170-174.

6. Фалендиш, А.П. Аналіз нормативних вимог, щодо визначення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних двигунів внутрішнього згоряння [Текст] / АП Фалендиш, ВО Гатченко, ЮВ Черняк, ОВ Клецька // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології, 2016. -№ 29. -С.235-247.

7. Чигирик, Н.Д. Методи діагностування технічного стану елементів колісно-моторних блоків тягового рухомого складу [Текст] / Н.Д. Чигирик, С.І. Возненко, І.Р. Вихопень, О.В. Клецька // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля / Науковий журнал. –Сєверодонецьк, ПП «Поліграф-сервіс», 2017. -№4 (234). –С.235-240.

8. Фалендиш, А.П. Аналіз підходів до розрахунку викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами дизелів тепловозів [Текст] / А.П. Фалендиш, В.О. Гатченко, О.В. Клецька // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля / Науковий журнал. –Сєверодонецьк, ПП «Поліграф-сервіс», 2017. -№3 (233). –С.228-233.

9. Фалендиш, А.П. Модель вибору стенду для проведення еколого-енергетичних випробувань дизельного рухомого складу [Текст] / А.П. Фалендиш, В.О. Гатченко, О.В. Клецька, Д.Е. Сулежко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля / Науковий журнал. –Сєверодонецьк, ПП «Поліграф-сервіс», 2018. -№2 (243). –С.208-215.

10. Артеменко, О.В. Регулювання процесу обігріву системи охолодження дизеля тепловоза ЧМЕЗ [Текст] / О.В. Артеменко, О.В. Клецька, М.С. Стовпяга, А.П. Фалендиш // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2017. -№4. –С.28-35.

*Публікації в зарубіжних та вітчизняних виданнях, які включені до наукометричних баз Scopus та Web of Science:*

11. Фалендиш, А.П. Моделювання зміни коефіцієнту технічного використання маневрового тепловозу для різних систем утримання [текст] / А. П. Фалендиш, А. Л. Сумцов, О. В. Артеменко, О. В. Клецька // Восточно-европейский журнал передовых технологий. -№1/3 (79). 2016. –С.24-31.

12. A Falendysh, Calculation of the Parameters of Hybrid Shunting Locomotive / Falendysh A, P Kharlamov, O Kletska, N Volodarets // Transportation Research Procedia Volume 14, 2016, Elsevier B.V. Pages 665-671.

13. The impact of the type of operation on the parameters of a shunting diesel locomotive with hybrid power plant / Anatoliy Falendysh, Mykyta

Volodarets, Olha Kletska, Viktoriia Hatchenko // MATEC Web Conferences 133.03003 (2017) BulTrans-2017. DOI: 10.1051/matecconf/201713303003.

14. Thermal imaging diagnostics locomotives / Andriy Sumtsov, Anatoliy Falendysh, Olha Kletska, // MATEC Web Conferences 182.01004 (2018) 17th International Conference Diagnostics of Machines and Vehicles 2018. (<http://DOI: 10.1051/matecconf/201818201004>).

15. Evaluation of wear reduction measures for wheelsets and rails operated in high mountain conditions / Voznenko, S., Falendysh, A., Sumtsov, A., Kletska, O., Blatnicky, M. // MATEC Web of Conferences 230, 01019.

16. 3-D simulation using for hydraulic calculation of the heat Accumulator / Kletska, O., Falendysh, A., Kagramanjan, A., Onishchenko, A. // MATEC Web of Conferences 240, 05011.

#### **Праці апробаційного характеру**

17. Савенко, В.В. Целесообразность дальнейшей электрофикации железных дорог Украины [Текст] / В.В. Савенко, А.П. Фалендиш, О.В. Клецкая // 8 Науково-практична конференція «Енергетична безпека на транспорті: Підвищення енергоефективності, зниження залежності від природного газу» 09-10 жовтня 2014р. м. Київ –Одеса. 2014. –С.97-99.

18. Фалендыш, А.П. К вопросу выбора вида тяги на железнодорожном транспорте [Текст] / А.П. Фалендыш, В.В. Савенко, О.В. Клецкая // Сборник материалов Второй Международной научно-технической конференции «Локомотивы. XXI век.» / -Санкт.-Петербург: ФГБОУ ВПО «ПГУПС». 2014. -С.180-182.

19. Каграманян, А.О. Екологічні аспекти експлуатації тепловозних дизелів [Текст] / А.О. Каграманян, С.В. Комар, О.В. Клецка, А.П. Фалендиш // Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» 11-17 квітня 2016 р. Україна, м. Трускавець. – Сєверодонецьк: ПП «Поліграф-сервіс». 2016. –С.85 - 86.

20. Фалендиш, А.П. Процедура покращення якості проведення реостатних випробувань тепловозу [Текст] / А.О. Каграманян, С.В. Комар, О.В. Клецка, А.П. Фалендиш // Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції «Інновації інфраструктури транспортно-логістичних систем. Проблеми, досвід, перспективи» 11-17 квітня 2016 р. Україна, м. Трускавець. –Сєверодонецьк: ПП «Поліграф-сервіс». 2016. – С.190 - 191.

21. Зінківський, А.М. Оцінка технічної експлуатації тягового рухомого складу [Текст] / А.М. Зінківський, О.В. Клецка, А.Л. Сумцов // Проблеми розвитку транспорту і логістики: Збірник наукових праць за матеріалами VII Міжнародної науково-практичної конференції, Сєверодонецьк-Одеса. 26-28 квітня 2017 р. Україна, м. Одеса. – Сєверодонецьк: вид-во СНУ ім.В.Даля. 2017. –С.87-89.

22. Gatchenko, V. Comparison of the emission standards of pollutants from exhaust gases diesel locomotive engines [text] / V.Gatchenko, A.Falendysh, O. Kletska, D. Ivanchenko // Globalization of scientific and educational space.

Innovations of transport. Problems, experience, prospect: thesis, 3-12 May 2017, Dresden (Germany) – Paris (France)/ -Severodonetsk. V.Dahl East Ukrainian National University. 2017. -P.50-52.

23. Pidiprygora, A. Ways of energy saving in railway transport [text] / A.Pidiprygora, O. Kletska, E. Yevtushenko // Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospect: thesis, 3-12 May 2017, Dresden (Germany) – Paris (France)/ -Severodonetsk. V.Dahl East Ukrainian National University. 2017. -P.158-159.

24. Фалендиш, А.П. Визначення енергоємності накопичувача енергії та потужності дизель-генератора гібридного транспортного засобу [Текст] / А.П. Фалендиш, М.В. Володарець, О.В. Клецька // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування. СЕУТТОО-2017: Збірник наукових парць за матеріалами 8-ї Міжнародної науково-практичної конференції, Херсон. 28-29 вересня 2017 р. Україна, м. Херсон: вид-во Херсонської Державної морської академії, 2017. –С.3180-320.

25. Артеменко, О.В. Оцінка параметрів двигуна тепловоза, що працює на холостому ході, як джерела енергії для самопрогріву [Текст] / О.В. Артеменко, О.В. Клецька, А.П. Фалендиш // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: Тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ї міжнародної науково-практичної конференції, Харків. 26-27 вересня 2017 р. Україна, м. Харків: Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, 2017. -№4 (додаток). –С.21-22.

26. Володарець, М.В. Визначення параметрів транспортного засобу з гібридним приводом з урахуванням життєвого циклу [Текст] // М.В. Володарець, В.О. Гатченко, О.В. Клецька, О.І. Косарєв, Д.Е. Сулежко / Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції «Технологія та інфраструктура транспорту» 14-16 травня 2018 р. Україна, м. Харків. УкрДУЗТ. 2018. –С.172 -174.

27. Фалендиш, А.П. Визначення обсягів випробувань модернізованих локомотивів [Текст] // А.П. Фалендиш, В.О. Гатченко, О.В. Клецька, О.В. Артеменко / Матеріали 78 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» 17-18 травня 2018р. м. Дніпро. –ДНУЗТ, 2018. –С.9-11.

28. Kletska O., Falendysh A., Onishchenko A., Kahramanian A. 3-D simulation using for hydraulic calculation of the heat accumulator. // Book of abstract. Volume 1. XI th International Conference on Computational Heat, Mass and Momentum Transfer. May 21-24 2018, Cracow, Poland, 2018. -P.278.

## АНОТАЦІЯ

**Клецька О.В. Удосконалення конструкції маневрових тепловозів за рахунок впровадження сучасних енергозберігаючих технологій. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля МОН України, Северодонецьк, 2019.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального наукового завдання – підвищення ефективності використання модернізованих маневрових тепловозів за рахунок удосконалення їх конструкції шляхом використання запропонованих методів та моделей визначення та оцінки технічних параметрів їх конструкції при модернізації новими енергоефективними технічними засобами.

В роботі формалізовано задачу визначення техніко-економічних параметрів для маневрового тепловоза з гібридною енергетичною установкою з врахуванням ним викидів шкідливих речовин. Розроблено: функціональна модель роботи гібридного маневрового тепловоза та математична модель для визначення параметрів енергетичної установки і накопичувача енергії з врахуванням умов маневрової роботи.

Ефективність модернізації маневрових тепловозів запропоновано визначати коефіцієнтом ефективності, який враховує технічний рівень тепловозу, витрати за життєвий цикл та екологічну складову з відповідними ваговими коефіцієнтами.

*Ключові слова:* маневровий тепловоз, гібридна енергетична установка, маневрова робота, накопичувач енергії, екологічний показник, модернізація.

## АННОТАЦІЯ

**Клецкая О.В. Усовершенствование конструкции маневровых тепловозов за счет внедрения современных энергосберегающих технологий. - Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов. - Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля МОН Украины, Северодонецк, 2019.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи - повышение эффективности использования модернизированных маневровых тепловозов за счет усовершенствования их конструкции путем использования предложенных методов и моделей определения, и оценки технических параметров их конструкции при модернизации новыми энергоэффективными техническими средствами.

В работе формализовано задачу определения технико-экономических параметров для маневрового тепловоза с гибридной энергетической установкой с учетом ним выбросов вредных веществ. Для этого проведен анализ парка маневровых локомотивов по расходу ими топлива, влияния на окружающую среду с учетом режимов их работы, который показал, что использование современных технических средств и технологий в конструкциях подвижного состава для энергосбережения является

проблемой актуальной и своевременной. Также был выполнен обзор научных и практических работ в области повышения эффективности использования маневровых тепловозов за счет конструктивных изменений и уменьшения ними выбросов вредных веществ, показывающий, что для решения задачи определения технико-экономических показателей тепловозов с гибридной энергетической установкой необходим комплексный подход, который должен связывать между собой технические параметры тепловоза, показатели эксплуатации и стоимостные показатели с учетом экологической составляющей.

Разработано: модель оценки выбора энергосберегающего мероприятия при модернизации маневровых тепловозов с учетом экологической составляющей с использованием метода адаптивной оптимизации, функциональная модель работы маневрового тепловоза с гибридной энергетической установкой, которая позволила определить функциональные связи между элементами передачи мощности с гибридным приводом. Также предложена модель для определения рациональных конструктивно-энергетических характеристик модернизированного маневрового тепловоза с гибридной энергетической установкой. Полученные функциональные зависимости мощности дизель-генераторной установки от энергоемкости накопителя энергии для маневровой работы тепловоза. В работе усовершенствованы оптимизационные модели нелинейного программирования по определению рациональных технико-экономических показателей маневрового тепловоза с гибридной энергетической установкой, которая учитывает стоимостные показатели элементов гибридного привода, расходы на ремонт и обслуживание, а также экономический эффект от внедрения гибридного привода на тепловозе с учетом выбросов вредных веществ. На основе моделей разработан программный комплекс для расчета технико-экономических характеристик маневрового тепловоза с гибридной энергетической установкой.

Определен технический уровень модернизированных шестиосных маневровых тепловозов с электрической передачей. Для этого была выбрана номенклатура показателей, характеризующих тепловоз с гибридной энергетической установкой и с использованием метода весовых коэффициентов рассчитан коэффициент технического уровня модернизированных шестиосных маневровых тепловозов. Выполнен расчет показателей стоимости жизненного цикла маневрового тепловоза ЧМЭЗ и модернизированного на его базе гибридной энергетической установкой.

Эффективность модернизации маневровых тепловозов предложено определять коэффициентом эффективности, который учитывает технический уровень тепловоза, затраты за жизненный цикл и экологическую составляющую с соответствующими весовыми коэффициентами.

*Ключевые слова:* маневровый тепловоз, гибридная энергетическая установка, маневровая работа, накопитель энергии, экологический показатель, модернизация.

## SUMMARY

**Kletska O. Improvement of the design of shunting diesel locomotives due to the introduction of modern energy-saving technologies. – Manuscript.**

The dissertation for the degree of candidate of technical sciences in speciality 05.22.07 – railway rolling stock and train traction. – Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Severodonetsk, 2019.

The dissertation deals with the solution of a relevant scientific task regarding the increase of the efficiency of modernized shunting diesel locomotives due to the improvement of their design by means of the application of the proposed methods and the models for the determination and evaluation of the technical parameters of their design when upgrading with new energy-efficient engineering tools.

The task for the determination of technical and economic parameters for a shunting diesel locomotive with hybrid power plant, taking into account harmful substance emissions, was formalized. The functional model for the operation of a hybrid shunting diesel locomotive, the optimization mathematical model for the parameter determination of the power unit and energy storage device, taking into account shunting operation conditions, were developed. Based on the models, the software complex for calculating the technical and economic features of a shunting diesel locomotive with hybrid power plant was developed.

It was proposed to determine the efficiency of the modernization of shunting locomotives with the efficiency factor that takes into account the technical level of locomotives, the life cycle costs and the ecological component with corresponding weight coefficients.

*Keywords:* shunting diesel locomotive, hybrid power plant, shunting operation, energy storage, ecological index, modernization.

Клецька Ольга Віталіївна

УДК: 629.424.1

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ ЗА  
РАХУНОК ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск



к.т.н. Зінківський А.М.

---

Підписано до друку  
Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.  
Умовн.-друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1.  
Тираж 100 прим.

---

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ».  
(ФО-П Миронов М.В. Свідоцтво ВО4№022953)  
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1