

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

**На правах рукопису**

**АСТАХОВА КСЕНІЯ ВІКТОРІВНА**

**УДК 629.424.3:621.436**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ І РЕМОНТУ  
РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ  
УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Дисертація на здобуття наукового ступеню  
кандидата технічних наук

Науковий керівник  
Мороз Володимир Ілліч  
доктор технічних наук, професор

Харків – 2012

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВСТУП.....                                                                                                                                                | 4   |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОЕКТУВАННЯ І<br>ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕМОНТУ РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ<br>ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗІВ.....                   | 11  |
| 1.1 Дослідження особливостей конструкції та функціонування<br>розподільних валів енергетичних установок тепловозів.....                                   | 11  |
| 1.2 Аналіз існуючих технологій проектування розподільних валів<br>сучасних ЕУТ.....                                                                       | 29  |
| 1.3 Особливості ремонту розподільних валів енергетичних<br>установок тепловозів .....                                                                     | 50  |
| 1.4 Висновки за розділом 1.....                                                                                                                           | 56  |
| РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЕКТУВАННЯ<br>ОСНОВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ РОЗПОДІЛЬНИХ<br>ВАЛІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК СУЧАСНИХ<br>ТЕПЛОВОЗІВ..... | 58  |
| 2.1 Розроблення формалізованого описання етапу профілювання<br>безударних кулачків удосконаленої технології проектування<br>розподільних валів ЕУТ .....  | 58  |
| 2.2 Новий метод профілювання високоефективних безударних<br>газорозподільних кулачків .....                                                               | 66  |
| 2.3 Уточнення методів моделювання кінематичних характеристик<br>просторових механізмів газорозподілу ЕУТ.....                                             | 79  |
| 2.4 Особливості розрахунково-експериментального дослідження<br>динамічних процесів в КМГР сучасних ЕУТ.....                                               | 89  |
| 2.5 Розрахункове оцінювання механічної напруженості основних<br>елементів конструкції КМГР енергетичних установок тепловозів.....                         | 103 |
| 2.6 Висновки за розділом 2.....                                                                                                                           | 108 |

|                                                                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| РОЗДІЛ 3 ПОЛІПШЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФУНКЦІОНУВАННЯ<br>МЕХАНІЗМУ ГАЗОРОЗПОДІЛУ ЕУТ Д49 ЗА РАХУНОК<br>ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ... | 109 |
| 3.1 Удосконалення конструкції розподільних валів за рахунок<br>використання нових газорозподільних кулачків.....                                   | 109 |
| 3.2 Оцінка надійності розподільних валів ЕУТ Д49 з новими<br>газорозподільними кулачками .....                                                     | 125 |
| 3.3 Обґрунтування рекомендацій з удосконалення проведення<br>ремонтів механізму газорозподілу ЕУТ Д49 з новими розподільними<br>валами.....        | 128 |
| 3.4 Оцінювання розрахункового економічного ефекту від<br>впровадження запропонованих технічних рішень.....                                         | 135 |
| 3.5 Висновки за розділом 3.....                                                                                                                    | 138 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                                                      | 139 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                                                                                                   | 142 |
| ДОДАТКИ .....                                                                                                                                      | 155 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Досягнення високих економічних показників роботи залізничного транспорту України пов'язане з необхідністю підвищення техніко-економічних показників тягового рухомого складу (ТРС), зокрема тепловозів. Одним з перспективних напрямків вирішення цієї задачі є підвищення паливної економічності та надійності енергетичних установок тепловозів (ЕУТ). Це підтверджується основними положеннями Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2015 роки, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. №1390 та Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, яку схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. № 1555-р.

Особливої актуальності вирішення цієї науково-практичної задачі набуває для ЕУТ з чотиритактними V – подібними дизелями типу Д49 (ЕУТ Д49), якими обладнано понад 50% магістральних тепловозів експлуатаційного парку Укрзалізниці.

За результатами проведених в Українській державній академії залізничного транспорту науково-дослідних робіт встановлено, що використання в конструкції розподільних валів (РВ) ЕУТ Д49 кулачків з тангенціальними профілями обумовлює ряд суттєвих недоліків, пов'язаних з організацією процесів газообміну в циліндрах, а також з виникненням значних навантажень та негативних динамічних проявів в механічній системі ЕУТ Д49. Усунення цих недоліків шляхом заміни на розподільному валу тангенціальних кулачків на нові безударні, які забезпечують збільшення величини часу-перерізу (ЧП) клапанів при виконанні вимог міцності та надійності, є одним з перспективних напрямків поліпшення процесів газообміну, сумішоутворення та згоряння в циліндрах ЕУТ, зменшення механічної напруженості, динамічних навантажень та процесів зношення основних деталей приводу (газорозподільних кулачків, роликів штовхачів, втулок, гідроштовхачів та

інших), зниження вартості їх ремонту. Додатково поліпшуються умови посадки клапана на сідло, що позитивно впливає на надійність ЕУТ.

Розглянуте визначає актуальність науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на поліпшення конструкції розподільних валів ЕУТ Д49 за рахунок використання удосконалених технологій їх проектування і ремонту.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертації відповідає Стратегії розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 року N 1555-р і Програмі оновлення локомотивного парку залізниць України, яка затверджена Постановою КМУ №840 від 01.08.2011 р.

Наукові результати дисертаційної роботи отримані при виконанні планів держбюджетних тем: «Розробка нової концепції і методів удосконалення механічних систем локомотивних енергетичних установок з метою поліпшення експлуатаційних характеристик» (ДР 0107U000341) і «Розробка нових методів проектування та дослідження механічних систем технічних засобів залізничного рухомого складу» (ДР 0111U002237).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є удосконалення технології проектування і ремонту розподільних валів енергетичних установок сучасних тепловозів за умов підвищення їх техніко-економічних показників. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- дослідження особливостей конструкції, функціонування та зношення розподільних валів енергетичних установок магістральних тепловозів експлуатаційного парку Укрзалізниці;
- аналіз існуючих технологій проектування і ремонту розподільних валів ЕУТ з чотиритактними V- подібними дизелями;
- обґрунтування перспективних напрямків удосконалення технології проектування і ремонту розподільних валів ЕУТ;

- розробка формалізованого описання етапу профілювання газорозподільних кулачків удосконаленої технології проектування РВ ЕУТ у вигляді задачі багатомірної оптимізації з обмеженнями;
- розробка методу профілювання нових високоефективних безударних газорозподільних кулачків РВ ЕУТ;
- удосконалення методів розрахунку кінематичних та динамічних характеристик просторових кулачкових механізмів газорозподілу (КМГР);
- розрахунково-експериментальні дослідження з визначення інерційних, силових і пружно-дисипативних параметрів для моделювання динамічних процесів КМГР ЕУТ Д49;
- розрахунково-експериментальне дослідження, спрямоване на розробку рекомендацій з удосконалення конструкції та ремонту розподільних валів ЕУТ Д49;
- оцінювання економічної ефективності від впровадження запропонованих технічних рішень на підприємствах Укрзалізниці.

*Об'єкт дослідження* — процес проектування, експлуатації та ремонту енергетичних установок сучасних магістральних тепловозів.

*Предмет дослідження* — технології проектування і ремонту розподільних валів ЕУТ.

**Методи дослідження.** При виконанні дисертаційної роботи використовувалися:

- фундаментальні положення теорії та конструкції локомотивів для аналізу особливостей конструкції, експлуатаційних навантажень та технології проектування ЕУТ;
- методи системного аналізу та оптимізаційного синтезу при розробці формалізованого описання удосконаленої технології проектування і ремонту розподільних валів ЕУТ;
- методи динаміки та міцності машин при отриманні математичних залежностей для розрахунку кінематичних і динамічних характеристик клапанного приводу ЕУТ;

- теорії математичного планування експерименту при розробці методу профілювання нових безударних кулачків газорозподілу ЕУТ;
- методи теорії надійності при оцінюванні показників надійності різних варіантів конструкції РВ;
- сучасні методи експериментальних досліджень при визначенні пружно-дисипативних параметрів КМГР ЕУТ;
- методи математичного моделювання при отриманні кінематичних і динамічних характеристик руху клапанів ЕУТ Д49.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В дисертаційній роботі надано теоретичне обґрунтування удосконалення технології проектування і ремонту розподільних валів ЕУТ, спрямованого на поліпшення їх техніко-економічних показників.

*Вперше:*

- запропоновано блочно-ієрархічне описання конструкції енергетичних установок магістральних тепловозів з виділенням підсистеми розподільного валу. Це дозволяє розглядати розподільний вал як елемент механічної системи і забезпечує урахування міжсистемних зв'язків при рішенні задач з удосконалення його конструкції;
- формалізовано описання етапу профілювання газорозподільних кулачків удосконаленої технології проектування розподільних валів ЕУТ у вигляді задачі багатовимірної оптимізації з обмеженнями. Така технологія та запропоновані підходи до вирішення цієї задачі на основі розроблених математичних залежностей та узагальнених математичних моделей дозволяють вирішувати задачі створення нових та модернізації існуючих розподільних валів за умов поліпшення показників паливної економічності і надійності ЕУТ;
- розроблено метод профілювання високоефективних безударних газорозподільних кулачків для удосконаленої технології проектування РВ ЕУТ, який за своєю суттю реалізує наукові положення динамічного синтезу складних поверхонь. Отримані на його основі кулачки забезпечують суттєве збільшення

ЧП клапанів та зменшення динамічних навантажень в КМГР (підвищення паливної економічності та надійності ЕУТ).

*Дістали подальшого розвитку:*

- методи дослідження кінематики і динаміки просторових КМГР ЕУТ Д49 за рахунок використання отриманих математичних залежностей для визначення швидкостей та прискорень клапанів ЕУТ, а також встановлених експериментально пружно-дисипативних параметрів клапанного приводу.

***Практичне значення одержаних результатів:***

- розроблений комплекс моделей удосконаленої технології проектування розподільних валів доцільно використовувати при створенні нових та модернізації існуючих ЕУТ. Вони також відповідають вимогам використання у відповідних підсистемах САПР;

- розроблено рекомендації для удосконалення конструкції розподільних валів ЕУТ Д49. Висвітлено особливості технології виготовлення і встановлення на розподільних валах газорозподільних кулачків з патентозахищеними профілями;

- запропоновані технічні рішення захищені патентами України на винаходи та прийняті до впровадження в локомотивних депо Основа і Полтава Південної залізниці. Вони також використовуються в навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту для студентів спеціальності «Локомотиви та локомотивне господарство» (підтверджується відповідними актами про впровадження).

***Особистий внесок здобувача.*** Усі результати дисертаційної роботи отримано особисто автором або за його безпосередньою участю. В наукових працях, написаних у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в:

[1] проаналізовано відомі методи і виділено особливості запропонованого нового підходу до профілювання газорозподільних кулачків ЕУТ; [2] розроблено формалізоване описання у вигляді задачі багатомірної оптимізації з обмеженнями; [3] оцінено кутові деформації РВ ЕУТ Д49 від дії експлуатаційних навантажень; [4] визначені координати профілів

газорозподільних кулачків і відповідні характеристики функціонування КМГР ЕУТ Д49; [5] отримані математичні залежності для розрахунку патенто захищених кулачків; [6] розраховані кінематичні характеристики КМГР ЕУТ Д49; [7] участь в проведенні експериментальних досліджень і обробці результатів; [8] розроблені скінчено-елементні моделі окремих секцій РВ ЕУТ Д49; [9] досліджено вплив технологічних обмежень на профілювання кулачків РВ; [10] проаналізовано приклади практичного використання удосконаленої технології проектування газорозподільних кулачків РВ; [11] розглянуті особливості використання методу проекцій замкнутого векторного контуру для отримання уточнених розрахункових залежностей; [12] визначено пружно-дисипативні параметри клапанного приводу ЕУТ Д49 на основі проведених експериментальних досліджень; [13] оброблено тензограми загасаючих коливань з метою отримання пружно-дисипативних характеристик КМГР ЕУТ Д49; [14] отримані розрахункові залежності для профілювання ділянок збігу за умов забезпечення допустимих швидкостей посадки клапану на сідло

Дослідження, що висвітлені в усіх наукових працях, проводились в УкрДАЗТ.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й отримали схвалення на:

- 17-й, 18-й і 19-й міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Україна, м. Харків, НТУ «ХПІ» 2009, 2010, 2011 р.р.);
- 74-й міжнародній науково-технічній конференції кафедр Української державної академії залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (Україна, м. Харків, 2012 р.);
- 5 міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные разработки науки и техники» (Польща, Перемишль, 2009 р.);
- 36-й науково-технічній конференції викладачів, аспірантів та співробітників Харківської національної академії міського господарства

«Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов» (Україна, м.Харків, 2012 р.)

Повністю результати дисертаційної роботи заслухано і схвалено на 74-й міжнародній науково-технічній конференції кафедр Української державної академії залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств, на розширеному засіданні кафедр «Експлуатація і ремонт рухомого складу», «Механіка і проектування машин», «Вагони», «Матеріали і технології виготовлення виробів транспортного призначення» Української державної академії залізничного транспорту, а також на розширеному засіданні кафедри «Локомотиви» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

**Публікації.** Результати дослідження опубліковані в шести статтях у фахових виданнях, затверджених МОНмолодьспорту України, двох патентах України на винахід і в шести працях апробаційного характеру у вигляді тез доповідей на науково-технічних конференціях.