

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка  
В. Лазаряна

**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

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2012

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі «Механіка і проектування машин» в Українській державній академії залізничного транспорту, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор  
**Мороз Володимир Ілліч**,  
Українська державна академія залізничного транспорту  
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України,  
кафедра механіки і проектування машин,  
завідувач кафедри

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Маслів В'ячеслав Георгійович**  
Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут», кафедра електричного транспорту та  
тепловозобудування, професор кафедри;

кандидат технічних наук, доцент  
**Очкасов Олександр Борисович**  
Дніпропетровський національний університет залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
кафедра локомотивів, доцент кафедри.

Захист відбудеться « 21 » лютого 2013 р. о 12<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої Ради Д 08.820.02 Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

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

Автореферат розісланий « 16 » січня 2013 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



І.В. Жуковицький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**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 вискоефективних 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 багатовимірної 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 патентозахищених 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 замкненого 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 «ХП» 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, м. 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.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Повний обсяг дисертації складає 197 сторінок, з яких обсяг основного тексту 141 сторінка. Робота містить: 49 рисунків, 17 таблиць, список використаних джерел із 114 найменувань та 9 додатків на 43 сторінках. 15 рисунків та 2 таблиці займають повну площу обсягом 13 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, надано загальну характеристику роботи.

**Перший розділ** присвячено аналізу сучасних технологій проектування і особливостей ремонту розподільних валів енергетичних установок тепловозів. Виходячи з мети

дисертаційної роботи проведено дослідження особливостей конструкції та функціонування розподільних валів ЕУТ. Значний науково-практичний внесок у вивчення питань проектування, експлуатації і ремонту ЕУТ зробили: Бабанін О.Б., Балабін В.М., Басов Г.Г., Блохін Є.П., Боднар Б.Є., Володін О.І., Голубенко О.Л., Горбунов М.І., Зайончковський В.М., Капіца М.І., Коссов Є.Є., Кузьмич В.Д., Кузнецов Т.Ф., Кудряш А.П., Марченко А.П., Маслієв В.Г., Мороз В.І., Нікітін Є.О., Сімсон А.Е., Тартаковський Е.Д., Фалендиш А.П., Хомич А.З., Четвергов В.А., Шокотов М.К. та інші.

Аналіз структури експлуатаційного парку магістральних тепловозів Укрзалізниці показав, що його основу складають тепловози серій 2ТЕ116, ТЕП70, М62, 2М62, 2ТЕ10М. В конструкції їх ЕУТ використовуються чотиритактні дизелі Д49, а також двотактні дизелі Д40 і 10Д100. Розподільні вали цих дизелів виконують різні функції. Розподільні вали ЕУТ Д49 містять паливні і газорозподільні кулачки і керують законами руху плунжерів паливного насосу високого тиску (ПНВТ) та впускних і випускних клапанів лівого і правого рядів циліндрів. Розподільні вали ЕУТ Д40 містять кулачки, які керують законами руху тільки випускних клапанів. ЕУТ з дизелями Д100 мають тільки кулачкові вали для приводу ПНВТ. Таким чином найбільші експлуатаційні навантаження сприймаються розподільними валами ЕУТ Д49 (рис. 1), якими обладнано понад 50% експлуатаційного парку магістральних тепловозів Укрзалізниці. Це підтверджується результатами аналізу науково-технічних джерел та досвідом експлуатації і ремонту ЕУТ Д49. Відмічене визначає відповідні вимоги до проектування, експлуатації і ремонту розподільних валів ЕУТ Д49.

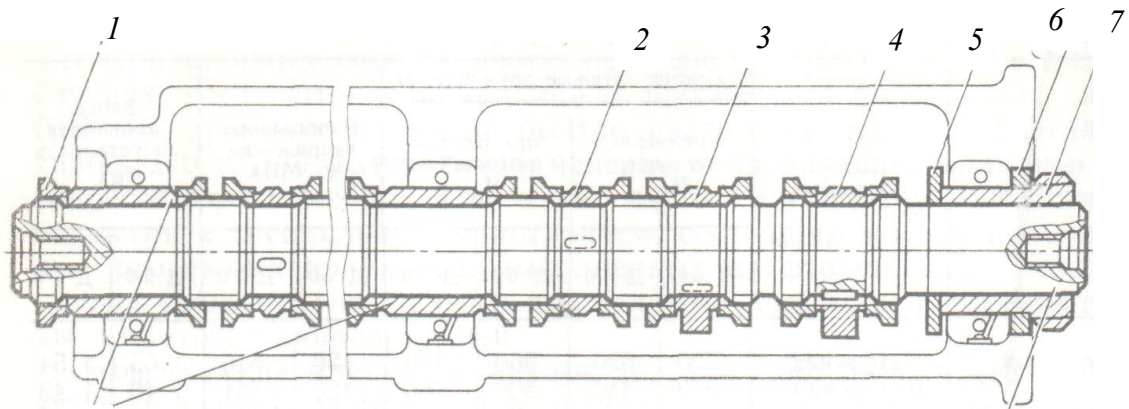


Рис.1. Розподільний вал ЕУТ Д49: 1- гайка; 2, 3, 4 - відповідно впускний, випускний та паливний кулачки, які працюють на два циліндри лівого та правого рядів; 5,6 – кільця опорно-упорної шийки, 7 – привідна втулка; 8 – тіло валу; 9 – втулка

Складність питання полягає в тому, що встановлені на РВ газорозподільні кулачки визначають не тільки якість протікання газообмінних процесів в циліндрах (паливну економічність), а й динамічні процеси в механізмі приводу клапанів (надійність ЕУТ). В більшості випадків використання кулачків, які забезпечують високі значення ЧП клапанів за вимогами робочого процесу в циліндрах, обмежується значним погіршенням динаміки КМГР та надійності ЕУТ, що неприпустимо. При вирішенні задач проектування РВ виникає необхідність в системному аналізі конструкції ЕУТ та її основних підсистем. Для цього може використовуватися її блочно-ієрархічне описання, фрагмент якого наведений на рис. 2.

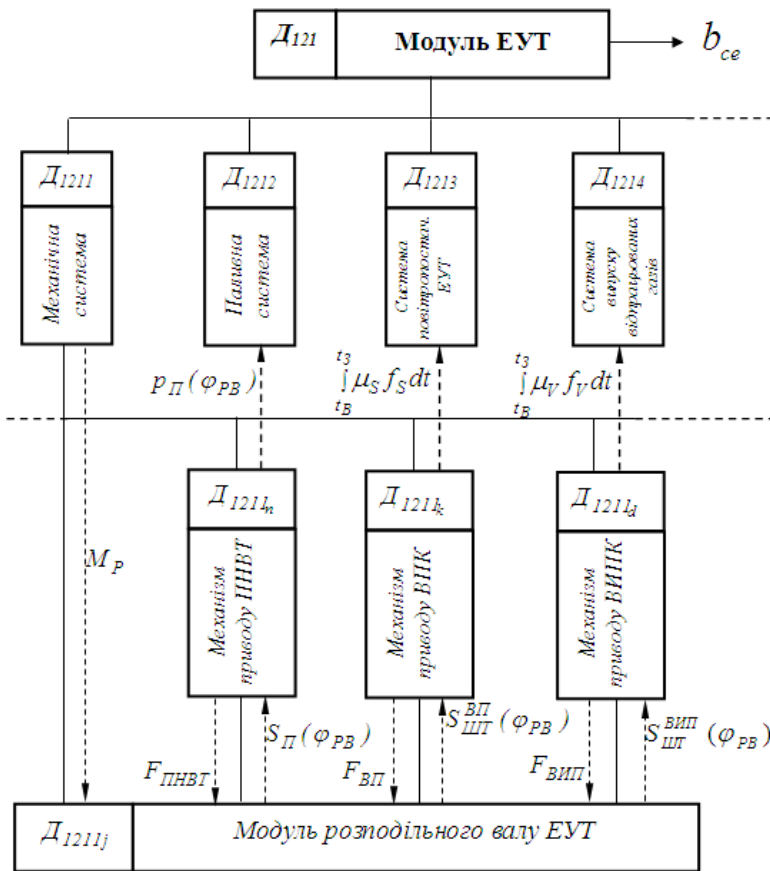


Рис.2. Фрагмент блочно - ієрархічної схеми модуля ЕУТ

деформації РВ у всіх його перерізах. Характер зміни функцій  $S_{\Pi}(\varphi_{PB})$ ,  $S_{ШТ}^{ВП}(\varphi_{PB})$  і  $S_{ШТ}^{ВИП}(\varphi_{PB})$  відповідає профілям паливних і газорозподільних кулачків РВ. В той же час характеристики функціонування механізмів приводу ПНВТ, ВПК і ВИПК визначають рівні відповідних навантажень на кулачки РВ -  $F_{ПНВТ}$ ,  $F_{ВП}$ ,  $F_{ВИП}$ .

Таким чином, досконалість конструкції розподільних валів, їх надійність є однією з умов вирішення важливого науково-прикладного завдання забезпечення високих техніко-економічних показників ЕУТ в експлуатації. Це визначає актуальність робіт, пов'язаних з удосконаленням технології проектування, експлуатації та ремонту розподільних валів.

Результати досліджень технічного стану ЕУТ Д49 з пробігом тепловозів 2ТЕ116 більше 1 млн. км., які проводились під час третього ПР-3 в депо Гребінка, виявили суттєві пошкодження профілів газорозподільних кулачків РВ, а також деталей КМГР. За оцінками фахівців такі пошкодження викликані суттєвими ударними навантаженнями, які мають місце при використанні газорозподільних кулачків з тангенціальними профілями. Додатковий негативний вплив оказують відхилення характеристик роботи гідроштовхачів (ГШ), які використовуються в конструкції клапанного приводу для вибирання теплового зазору. Зроблено висновок про необхідність удосконалення технології проектування РВ сучасних ЕУТ. Вирішення цієї задачі потребує використання методів профілювання вискоефективних безударних газорозподільних кулачків.

Проведено аналіз існуючих технологій профілювання газорозподільних кулачків. Ефективність різних профілів за однакових умов на проектування оцінювалася за величиною

У відповідності до схеми показником, що оцінює паливну економічність ЕУТ, є середньоексплуатаційна витрата палива  $b_{se}$ , на величину якої істотно впливає якість протікання процесів сумішоутворення, згоряння і газообміну в циліндрах. Причому закономірності зміни тиску палива в надплунжерному просторі  $p_{\Pi}(\varphi_{PB})$  за кутом обертання РВ  $\varphi_{PB}$ , а також величини часу-перерізу впускних

(ВПК)  $\int_{t_B}^{t_3} \mu f_S dt$  і випускних

(ВИПК)  $\int_{t_B}^{t_3} \mu f_V dt$  клапанів

визначаються законами руху штовхачів ПНВТ  $S_{\Pi}(\varphi_{PB})$  і механізмів приводу ВПК  $S_{ШТ}^{ВП}(\varphi_{PB})$  і ВИПК  $S_{ШТ}^{ВИП}(\varphi_{PB})$ . До того ж навантаження в перерізах паливних кулачків обумовлюють кутові



коефіцієнта повноти діаграми переміщень клапана  $\eta_{II}$  (відношення площі під кривою переміщень клапану до площі прямокутника із сторонами, що відповідають кутовій протяжності відкриття клапану  $\varphi_0$  і максимальному переміщенню клапану  $S_{max}$ ), який характеризує величину ЧП клапанів.

За результатами розрахункових досліджень робочого процесу ЕУТ Д49 для його якісного протікання необхідні закони переміщення клапанів, при яких забезпечується значення коефіцієнту  $\eta_{II}$  не менше  $0,57...0,59$ , що на цей час досягається при використанні тангенціальних кулачків. Але при цьому мають місце негативні прояви в динаміці клапанного приводу – удари, розриви в кінематичному ланцюзі, високі механічні напруження.

Проведено дослідження з оцінювання доцільності профілювання та використання в конструкції розподільних валів ЕУТ Д49 безударних кулачків, спрофільованих за відомими методами Дадли В., Курца Д, Драпкіна Я.І. Їх аналіз показав, що при забезпеченні прийнятної динаміки клапанного приводу при використанні метода Дадли В. досягається значення  $\eta_{II}$   $0,53...0,55$ , метода Курца Д. -  $0,54...0,56$ , метода Драпкіна Я.І.–  $0,56...0,57$ .

Ці значення нижчі у порівнянні з тангенціальними кулачками, що неприйнятно за умовами забезпечення протікання якісного робочого процесу в циліндрах.

Це визначило актуальність розробки нових підходів та відповідних методів профілювання безударних кулачків для розподільних валів ЕУТ Д49.

Проаналізовано особливості зношення конструктивних елементів РВ та приводу клапанів ЕУТ Д49 в експлуатації та технології їх ремонту. Відмічено високий ступінь замінності основних деталей клапанного приводу. Виявлено, що основними причинами підвищених зносів та пошкоджень є негативні впливи динамічних процесів, які виникають при використанні тангенціальних кулачків, а також порушення характеристик функціонування гідроштовхачів (умов вибирання теплових зазорів).

Зроблено висновок, що питання удосконалення технології проектування РВ необхідно пов'язувати з особливостями їх ремонту в експлуатації.

**У другому розділі** представлено результати досліджень, спрямованих на удосконалення технології проектування основних елементів конструкції розподільних валів енергетичних установок сучасних тепловозів.

В узагальненому плані технологія проектування розподільних валів містить цілий ряд етапів, що передбачають задоволення вимог до РВ як складової загальної конструкції ЕУТ – його місце в компоновці, особливості складання, кінематичного зв'язку з колінчастим валом, забезпечення несучої міцності. З урахуванням того, що методи і підходи, які застосовуються при проведенні цих етапів, детально розроблені і висвітлені в навчальній і довідковій літературі з конструювання ЕУТ, при проведенні дослідження не розглядалися.

Одним з головних етапів технології проектування розподільних валів є етап профілювання газорозподільних кулачків на основі відповідних методів. Тому визначаючим моментом в удосконаленій технології є проведення цього етапу на основі використання нового методу профілювання високоефективних безударних кулачків.

Висвітлена складність проведення процедури профілювання безударних газорозподільних кулачків за умов досягнення високих значень ЧП клапанів при забезпеченні задовільних динамічних характеристик КМГР, а також виконання вимог міцності деталей, конструктивних і технологічних обмежень. Тому її слід розглядати як

задачу багатовимірної оптимізації з обмеженнями.

Для рішення такої задачі виділено групи (конструкційні, динамічні, міцності, технологічні) вимог і обмежень, що повинні ураховуватися при профілюванні безударних кулачків:

1. Кулачок повинен забезпечувати найбільше значення ЧП клапанів (величину коефіцієнту  $\eta_{II}$ ) при заданій кінематичній схемі приводу, куті дії  $\varphi_0 = c^0$ , максимальному переміщенні штовхача  $\delta_{max} = b^0$ , радіусі початкового кола  $r_0 = d$  мм і радіусі ролика  $\rho = e$  мм;

2. Динамічні характеристики КМГР з заданим профілем кулачка повинні відповідати умовам надійності приводу: забезпечення відсутності розривів у кінематичному ланцюзі приводу впродовж всього переміщення клапану – узагальнена деформація ланок приводу  $z$  при будь-якому положенні механізму завжди повинна бути додатною ( $z > 0$ ); максимальна швидкість посадки клапану на сідло  $v_{0max}$  не повинна перевищувати граничного значення  $[v_0]$  ( $v_{0max} \leq [v_0]$ ); мінімальна величина коефіцієнту запасу клапанних пружин за силами інерції  $k_{зmin}$  не повинна бути менша встановленого граничного значення ( $k_{зmin} \geq [k_{зn}]$ ).

3. Механічна напруженість приводу з заданим профілем кулачка повинна відповідати умовам працездатності КМГР: максимальні значення кута тиску  $\beta_{max}$  кулачка на штовхач не повинні перевищувати граничних значень  $[\beta]$ , встановлених для даної схеми механізму ( $\beta_{max} \leq [\beta]$ ); максимальні контактні напруження в парі «поверхня кулачка – штовхач»  $\sigma_{Hmax}$  не повинні перевищувати допустимі значення  $[\sigma_H]$  ( $\sigma_{Hmax} \leq [\sigma_H]$ ); величина коефіцієнту запасу стійкості штанги  $n_{min}$  не повинна бути менша допустимого значення  $[n]$  ( $n_{min} \geq [n]$ ).

4. Запропонований безударний профіль кулачка повинний відповідати можливостям і умовам сучасних технологій виготовлення: для КМГР з роликівими штовхачами такої вимозі відповідає обмеження мінімального радіусу кривизни увігнутої ділянки профілю  $R_{min}^{kp}$  за умов мінімального радіусу шліфувальних кругів  $[R_{min}^{kp}]$  ( $R_{min}^{kp} \leq [R_{min}^{kp}]$ ).

В якості основного критерію ефективності обрано коефіцієнт повноти діаграми переміщень клапана  $\eta_{II}$ , функціональні обмеження (вторинні критерії) вибираються з представлених груп критеріїв 2...4, а їх граничні значення визначаються у відповідності до конкретних умов на проектування КМГР.

Узагальнений запис задачі профілювання безударних газорозподільних кулачків РВ енергетичних установок представлено у наступному виді

$$\eta_{II} = F(\bar{X}^*) = \max \quad (1)$$

$$X^* \in D, X \in D.$$

Область можливих рішень визначається інтервалами варіювання вибраних змінних параметрів  $x_1, x_2, \dots, x_k$  (відповідають прийнятій методиці профілювання)

$$D = \left\{ \bar{X} \mid x_{i_{min}} \leq x_i \leq x_{i_{max}}; i \in [1; n] \right\} \quad (2)$$

Область допустимих рішень з урахуванням функціональних обмежень, для КМГР ЕУТ Д49 з коромисловим роликівим штовхачем і штангою

$$D_x = \left\{ \overline{X} \left\{ \begin{array}{l} \delta_{max} = b; \varphi_\delta = c; r_0 = d; \rho = e; z > 0; v_0 \leq [v_0]; k_{3n} \geq [k_{3n}]; \beta_{max} \leq [\beta]; \\ \sigma_{Hmax} \leq [\sigma]; n_{min} \geq n; (R_{min}^{kp} \leq [R_{min}^{kp}]); x_{imin} \leq x_i \leq x_{imax}; i \in [1; k] \end{array} \right. \right\}. \quad (3)$$

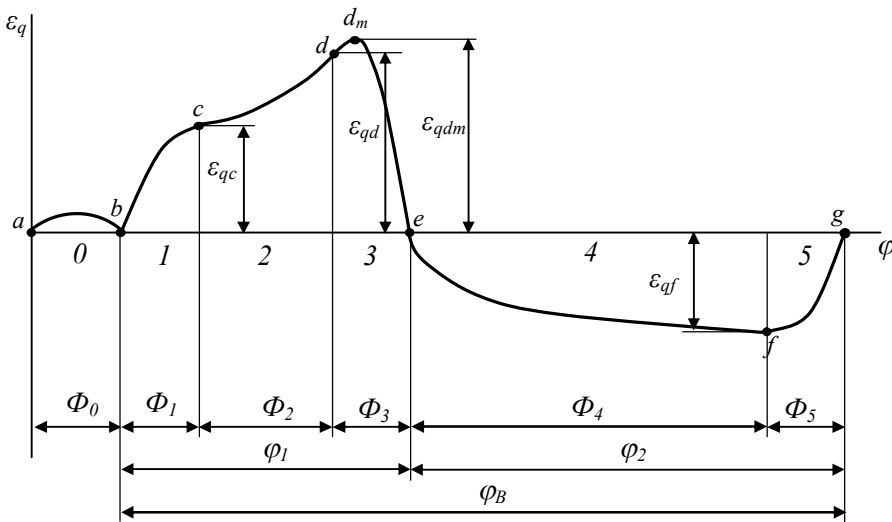


Рис.3. Базова крива прискорень штовхача

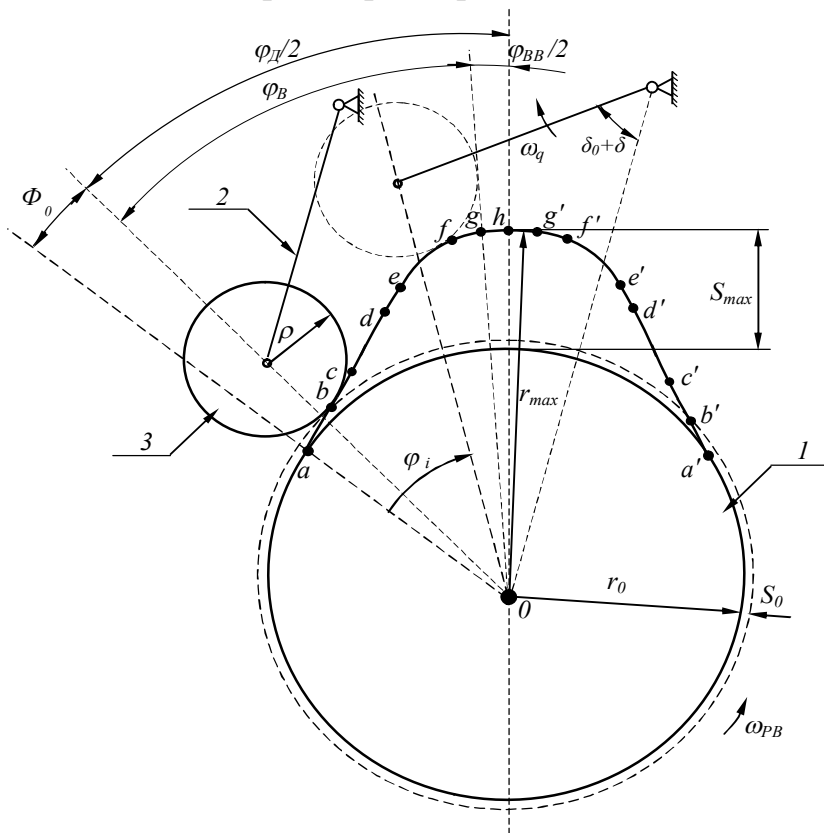


Рис.4. Патенто захищений профіль газорозподільного кулачка ЕУТ

У відповідності до вимог запропонованого формалізованого описання розроблено новий патенто захищений метод профілювання безударних кулачків для розподільних валів ЕУТ. Особливістю методу є формування та подальше використання базової кривої прискорень штовхача (рис.3), яка на відміну від відомих кривих враховує не тільки задані за вимогами робочого процесу умови, а і встановлені обмеження на виготовлення та характеристики функціонування КМГР. Точніше при заданому куті дії кулачка  $\varphi_D$  (фазах газорозподілу) і максимальному переміщенні штовхача  $S_{max}$  ( $\delta_{max}$ ) синтезування складної базової кривої здійснюється шляхом завдання координат характерних (опорних) точок, кожна з яких відповідає визначеній умові виконання одного з обмежень, що враховуються. При цьому вказані опорні точки з'єднуються кривими, від яких також обирається за умов дотримання вимог динаміки, технології виго-

товлення і міцності деталей приводу. Отриманий профіль газорозподільного кулачка для КМГР з коромисловим роликівим штовхачем з виділенням ділянок, які за позначенням відповідають певним відріzkам запропонованої базової кривої штовхача, показаний на рис.4.

На основі запропонованої базової кривої розроблені математичні залежності для розрахунків поточних значень аналогів кутових прискорень  $\varepsilon_q$ , швидкостей  $\omega_q$  і переміщень  $\delta$  штовхача за кутом повороту кулачка  $\varphi$  для кожної ділянки патентозахищеного профілю газорозподільного кулачка.

Ділянка 0 кутової протяжності  $\Phi_0: 0 \leq \varphi \leq \Phi_0$

$$\varepsilon_q = \frac{\delta_0 \cdot \pi}{\Phi_0^2} \sin\left(\frac{\pi}{\Phi_{01}} \varphi\right), \quad (4)$$

$$\omega_q = \frac{\delta_0}{\Phi_0} \left[ 1 - \cos\left(\frac{\pi}{\Phi_{01}} \varphi\right) \right], \quad (5)$$

$$\delta = \frac{\delta_0}{\Phi_0} \left[ \varphi - \sin\left(\frac{\pi}{\Phi_{01}} \varphi\right) \right]. \quad (6)$$

Ділянка 1 кутової протяжності  $\Phi_1: 0 \leq \varphi \leq \Phi_1$

$$\varepsilon_q = A_1 \varphi^n; \quad (7)$$

$$\omega_q = \frac{A_1}{(n+1)} \varphi^{n+1} + \omega_{q0}; \quad (8)$$

$$\delta = \frac{A_1}{(n+1) \cdot (n+2)} \varphi^{n+2} + \omega_{q0} \varphi + \delta_0, \quad (9)$$

де  $n$  - показник ступеневої функції кривої  $b-c$ ; коефіцієнт  $A_1 = -\frac{a_{qc}}{\Phi_1^n}$ ;  $\omega_{q0}$  - аналог кутової

швидкості штовхача в кінці ділянки збігу (відповідає теоретичному значенню швидкості посадки клапану на сідло);  $\delta_0$  - кутове переміщення штовхача в кінці ділянки збігу (відповідає величині теплового зазору в КМГР з боку кулачка).

Ділянка 2 кутової протяжності  $\Phi_2: 0 \leq \varphi \leq \Phi_2$

$$\varepsilon_q = A_2 \varphi^p + C_2; \quad (10)$$

$$\omega_q = \frac{A_2}{(p+1)} \varphi^{p+1} + C_2 \varphi + \omega_{q1E}; \quad (11)$$

$$\delta = \frac{A_2}{(p+1) \cdot (p+2)} \varphi^{p+2} + \frac{C_2}{2} \varphi^2 + \omega_{q1E} \varphi + \delta_{1E}, \quad (12)$$

де  $p$  - показник ступеневої функції кривої  $c-d$ ; коефіцієнти  $A_2 = \frac{\varepsilon_{qd} \cdot (m_1 - 1)}{\Phi_2^p}$ ,  $C_2 = \varepsilon_{qd}$ ;

$m_1$  - коефіцієнт збільшення додатних прискорень штовхача на ділянці 2 відносно величини  $\varepsilon_{qc}$ ;  $\omega_{q1E}$  - аналог кутової швидкості штовхача в кінці ділянки 1;  $\delta_{1E}$  - кутове переміщення штовхача в кінці ділянки 1.

Ділянка 3 кутової протяжності  $\Phi_3: 0 \leq \varphi \leq \Phi_3$

$$\varepsilon_q = A_3 \varphi^2 + B_3 \varphi + C_3; \quad (13)$$

$$\omega_q = \frac{A_3}{3} \varphi^3 + \frac{B_3}{2} \varphi^2 + C_3 \varphi + \omega_{q_{2E}}; \quad (14)$$

$$\delta = \frac{A_3}{12} \varphi^4 + \frac{B_3}{6} \varphi^3 + \frac{C_3}{2} \varphi^2 + \omega_{q_{2E}} \varphi + \delta_{2E}, \quad (15)$$

де коефіцієнти  $B_3 = \frac{2 \cdot \varepsilon_{qd} \cdot (m_2 - m_1) \left[ 1 + \sqrt{\frac{m_2}{(m_2 - m_1)}} \right]}{\Phi_3};$

$$A_3 = -\frac{B_3^2}{4 \cdot \varepsilon_{qd} \cdot (m_2 - m_1)}; (m_2 > m_1); C_3 = \varepsilon_{qd} \cdot m_1;$$

$m_2$  - коефіцієнт збільшення додатних прискорень штовхача на ділянці 3 відносно величини  $\varepsilon_{qc}$ ;  $\omega_{q_{2E}}$  - аналог кутової швидкості штовхача в кінці ділянки 2;  $\delta_{2E}$  - кутове переміщення штовхача в кінці ділянки 2.

Ділянка 4 кутової протяжності  $\Phi_4: 0 \leq \varphi \leq \Phi_4$

$$\varepsilon_q = A_4 \varphi^q + B_4 \varphi; \quad (16)$$

$$\omega_q = \frac{A_4}{(q+1)} \varphi^{q+1} + \frac{B_4}{2} \varphi^2 + \omega_{q_{3E}}; \quad (17)$$

$$\delta = \frac{A_4}{(q+1) \cdot (q+2)} \varphi^{q+2} + \frac{B_4}{6} \varphi^3 + \omega_{q_{3E}} \varphi + \delta_{3E}. \quad (18)$$

де коефіцієнти  $A_4 = -\frac{\varepsilon_{qf}}{(1-q) \cdot \Phi_4^q}; B_4 = \frac{\varepsilon_{qf} \cdot q}{(1-q) \cdot \Phi_4};$   $q$  - показник ступеневої функції

кривої  $e-f$ ;  $\omega_{q_{3E}}$  - аналог кутової швидкості штовхача в кінці ділянки 3;  $\delta_{3E}$  - кутове переміщення штовхача в кінці ділянки 3.

Ділянка 5 кутової протяжності  $\Phi_5: 0 \leq \varphi \leq \Phi_5$

$$\varepsilon_q = A_5 \varphi^k + C_5; \quad (19)$$

$$\omega_q = \frac{A_5}{(k+1)} \varphi^{k+1} + C_5 \varphi + \omega_{q_{4E}}; \quad (20)$$

$$\delta = \frac{A_5}{(q+1) \cdot (q+2)} \varphi^{k+2} + \frac{C_5}{2} \varphi^2 + \omega_{q_{4E}} \varphi + \delta_{4E}, \quad (21)$$

де коефіцієнти  $A_5 = \frac{\varepsilon_{qf}}{\Phi_5^k}; C_5 = -\varepsilon_{qf};$

$k$  - показник ступеневої функції кривої  $f-g$ ;

$\omega_{q_{4E}}$  - аналог кутової швидкості штовхача в кінці ділянки 4;

$\delta_{4E}$  - кутове переміщення штовхача в кінці ділянки 4.

Слід відмітити, що використання таких кулачків в конструкції розподільних валів ЕУТ дозволить отримати високі значення  $\eta_{II}$  (не нижче 0,64...0,66) при забезпеченні всіх наведених вище умов і обмежень.

Реалізація висвітленого методу в удосконаленій технології проектування РВ передбачає перевірку виконання умов міцності та прийнятної динаміки клапанного приводу на експлуатаційних режимах роботи ЕУТ. Для проведення таких перевірок потребуються відповідні кінематичні та динамічні характеристики руху клапанів. Це визначило необхідність удосконалення методів розрахунку кінематичних та динамічних характеристик просторових КМГР, які використовуються в ЕУТ Д49.

Запропоновано описання конструкції просторових механізмів приводу впускних і випускних клапанів у вигляді замкнених векторних контурів. Отримано розрахункові залежності, використання яких забезпечує уточнене (до 20% за рівнями прискорень в порівнянні зі спрощеними методиками) визначення переміщень, швидкостей та прискорень клапанів.

Важливе місце при проведенні етапу, що розглядається, займає контроль динамічних процесів, які відбуваються в КМГР при використанні газорозподільних кулачків з відповідними профілями. При його проведенні контролюється: відсутність розривів в кінематичному ланцюзі приводу; найбільші додатні та від'ємні інерційні навантаження; коефіцієнти запасу штанг на стійкість та коефіцієнти запасу клапанних пружин за силами інерції; рівні контактних напружень; відхилення за моментами відкриття та закриття клапанів; швидкості посадки клапанів на сідло.

Для проведення такого контролю використовується узагальнена динамічна модель (рис. 5). Відповідне рівняння руху клапанів має вид:

$$z'' + k_{\partial} \cdot \frac{\mathcal{G}^2}{\omega_{PB}^2} \cdot z = y_{um}'' + y_{um} \frac{c_{np}}{(c_{36} + c_{np})} \cdot \frac{\mathcal{G}^2}{\omega_{PB}^2} + \frac{F_0 + F_{62}}{(c_{36} + c_{np})} \cdot \frac{\mathcal{G}^2}{\omega_{PB}^2}, \quad (22)$$

де  $z, z', z''$  - відповідно узагальнена деформація КМГР і її перша і друга похідні;  $y_{um}, y_{um}'$  і  $y_{um}''$  - зведені до осі клапану переміщення, аналоги швидкості та прискорення штовхача;  $c_{36}$  - зведена жорсткість механізму;  $c_{np}$  - жорсткість комплекту клапанних пружин;  $k_{36}$  - зведений коефіцієнт демпфірування;  $\mathcal{G}$  - частота власних коливань,  $F_0$  - сила попереднього затягнення клапанних пружин;  $F_{62}$  - сила тиску газів на тарілки випускних клапанів.

Основна складність при використанні такої моделі пов'язана з визначенням коефіцієнтів  $c_{36}$  та  $k_{36}$ . Для цього на експериментальному стенді дизеля Д49 з використанням сучасної виміральної і реєструючої апаратури проведено розрахунково-експериментальне дослідження з визначення пружно-дисипативних параметрів. При проведенні експериментів створювались ударні навантаження в зоні найбільш податливої деталі КМГР (штанги) з одночасним записом тензограм загасаючих коливань (ТЗК). Виконано запис більше 50 ТЗК для штанг приводу ВПК і ВИПК. На рис.6 у вигляді ТЗК представлені результати, що отримані при окремих дослідках (для приводу ВПК – 1-й та 18-й; ВИПК – 1-й та 23-й) та усереднені за 25 вимірами. Їх наявність дозволила встановити послідовні амплітуди  $A_n$  і  $A_{n+1}$  та період власних коливань  $T$ , за якими розраховані шукані значення  $c_{36}$ ,  $k_{36}$  і  $\mathcal{G}$ .

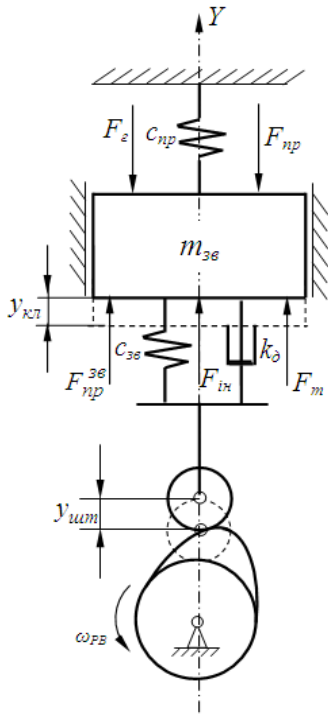


Рис.5. Динамічна модель КМГР

Проведене математичне моделювання динамічних характеристик механізмів газорозподілу ЕУТ Д49 з РВ, на яких встановлені серійні газорозподільні кулачки з тангенціальними профілями. На рис. 7 представлені отримані динамічні характеристики механізму приводу ВПК.

В ході їх аналізу встановлено, що при використанні в конструкції РВ ЕУТ Д49 тангенціальних газорозподільних кулачків виникають розриви в кінематичному ланцюгу приводу ВПК, мають місце гранично високі рівні механічної напруженості в механізмі приводу ВПК, а також значне (на 20%) перевищення допустимих значень швидкостей посадки на сідло ВПК і ВПК. У випадках відмов ГШ (табл. 1) ситуація погіршується.

Наведені вище матеріали складають основу етапу профілювання газорозподільних кулачків удосконаленої технології проектування розподільних валів ЕУТ і обґрунтовують доцільність їх використання при розв'язанні науково-практичних завдань з удосконалення конструкції ЕУТ.

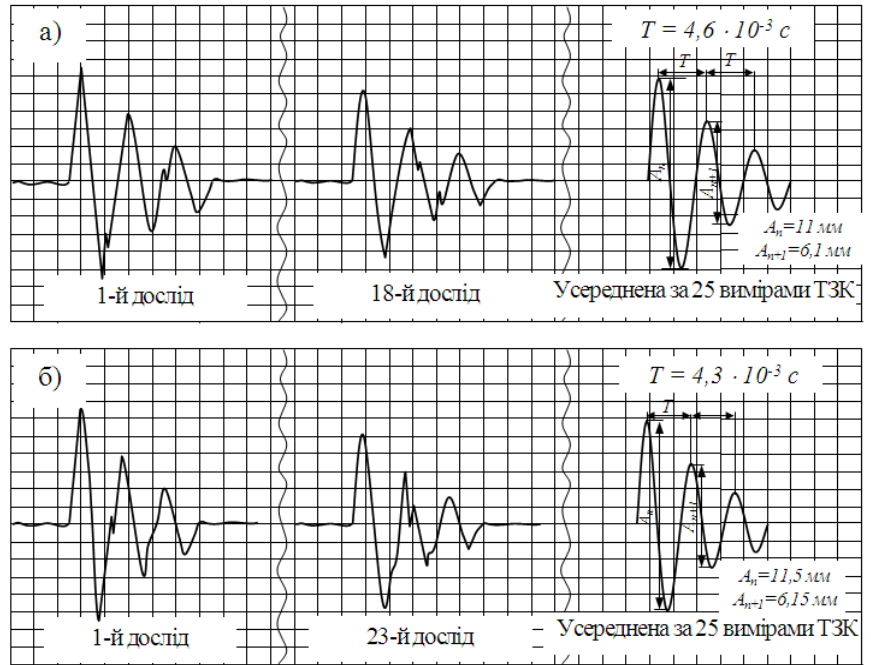


Рис.6. Фрагменти ТЗК для штанг механізмів приводу ВПК (а) та ВПК (б) ЕУТ з дизелем 6Д49

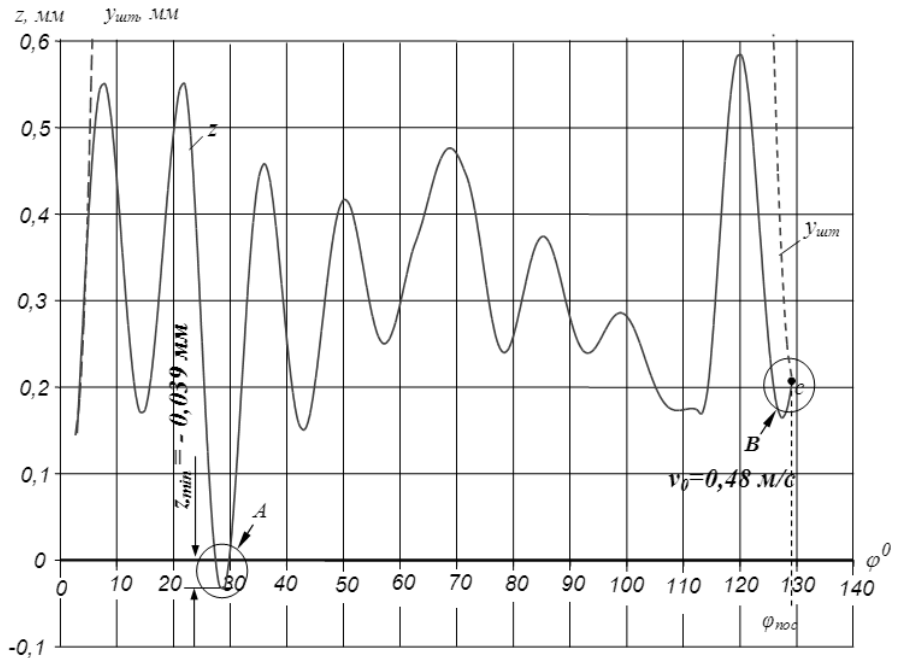


Рис.7. Динамічні характеристики механізму приводу впускних клапанів ЕУТ Д49 з серійним РВ

Результати моделювання динамічних характеристик механізмів ЕУТ Д49 з серійними РВ

Показник	Вимоги до величини показника	При справному ГШ		При відмовах ГШ	
		Привод ВПК	Привод ВИПК	Привод ВПК	Привод ВИПК
Мінімальна узагальнена деформація приводу $z_{min}$ , мм	$z_{min} > 0$	-0,039	0,28	-0,06	0,22
Швидкість посадки клапанів на сідло $v_0$ , м/с.	$[v_0]_{ВПК}=0,4$ м/с $[v_0]_{ВИПК}=0,6$ м/с	0,48	0,72	0,6	0,83
Максимальні контактні напруження в парі «кулачок-ролик» $\sigma_{Hmax}$ МПа	$\sigma_{Hmax}=2000$ МПа	1007	1773	1136	1850
Мінімальний коефіцієнт запасу стійкості штанги, $n_{min}$	$n_{min}=3$	4,1	2,56	3,5	2,1

У третьому розділі наведено результати розрахунково-експериментального дослідження, спрямованого на поліпшення функціонування кулачкового механізму газорозподілу ЕУТ Д49 при використанні розподільних валів удосконаленої конструкції. При цьому у відповідності до розробленої технології проектування етап профілювання газорозподільних кулачків виконувався з використанням описаного у другому розділі нового методу.

Масив вихідних даних було сформовано у відповідності до: заданих фаз газорозподілу, конструктивних параметрів розподільного валу та важільного механізму приводу клапанів; технологічних можливостей підприємств; допустимих значень рівнів механічних напружень деталей приводу; конструктивних особливостей газоповітряних каналів кришки циліндру. Далі встановлювалися основні параметри базових кривих прискорень штовхачів (клапанів) механізмів приводу ВПК і ВИПК при заданих вимогах і обмеженнях на проектування. На їх основі було виконано розрахунки координат профілів кулачків, відповідних кінематичних та динамічних характеристик. В якості прикладу на рис.8 наведені характеристики руху ВИПК, які демонструють позитивний вплив нових кулачків на збільшення їх ЧП. На рис.9 наведені динамічні характеристики механізму приводу впускних клапанів, які підтверджують відсутність розривів кінематичного ланцюга приводу та прийнятні значення швидкості посадки клапана на сідло.

Обробка отриманих характеристик показала, що при використанні нових кулачків коефіцієнт  $\eta_{II}$  складає 0,64 для впускних клапанів та 0,66 – для випускних (що на 12% перевищує значення коефіцієнта  $\eta_{II}$  при використанні тангенціальних кулачків і еквівалентно збільшенню ЧП клапанів на 18 – 21%), мінімальна узагальнена деформація приводу (умова безрозривності) складає 0,015 мм для впускних клапанів та 0,197 мм для випускних, максимальні контактні напруження в парі «кулачок – штовхач» - 882 МПа для впускних клапанів та 1336 МПа для випускних, швидкість посадки клапанів на сідло – 0,32 м/с для впускних та 0,52 м/с для випускних клапанів.

Розрахункові оцінки впливу запропонованих рішень на паливну економічність ЕУТ Д49 показали, що при використанні розподільних валів з новими безударними кулачками середньоексплуатаційна витрата палива знижується  $b_{ce}$  на 3...5 г/(екВт·год).



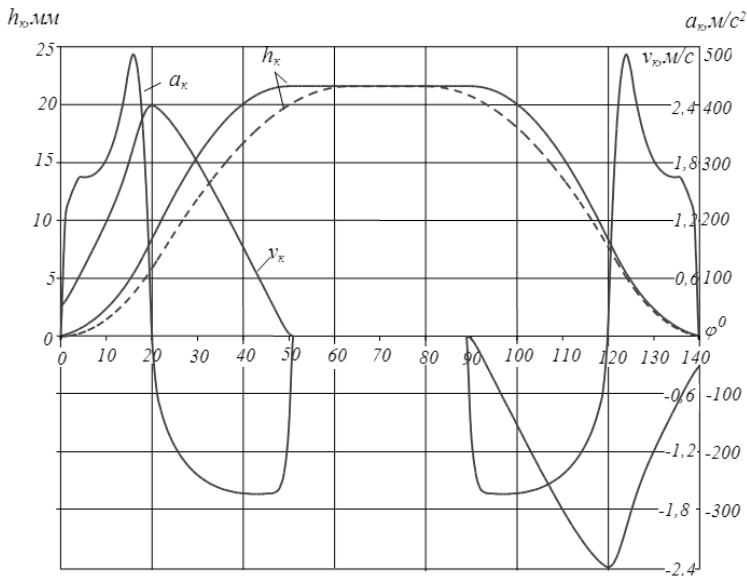


Рис.8. Кінематичні характеристики ВІПК:  
 - - - - - при серійному РВ;  
 ————— при удосконаленому РВ

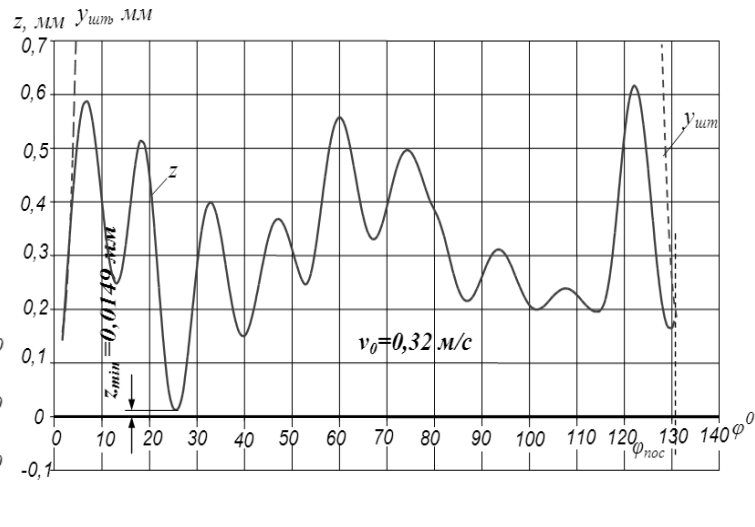


Рис.9. Динамічні характеристики механізму приводу ВІПК

Встановлено, що при використанні розподільних валів з новими безударними кулачками суттєво зменшуються рівні максимальних контактних напружень в парі «кулачок – ролик штовхача» (у порівнянні з тангенціальними кулачками для впускних клапанів – на 15%, для випускних – на 30%). Це є важливим фактором забезпечення міцності, підвищення надійності та зменшення зносів робочих поверхонь контактуючих деталей, що позитивно впливає на експлуатацію і ремонт розподільних валів.

Висвітлено особливості технології виготовлення і встановлення запропонованих газорозподільних кулачків з патентозахищеними профілями в умовах підприємств залізничного транспорту. З урахування того, що профілі нових кулачків мають ділянки для безударного вибору теплових зазорів (ділянки збігу), в роботі проаналізовано можливість роботи нового клапанного приводу ЕУТ Д49 без гідроштовхачів. У разі необхідності (порушення заданих характеристик функціонування) на ЕУТ, що знаходяться в експлуатації, блокування негативних проявів може здійснюватися шляхом їх відключення від масляної системи.

Впровадження запропонованих технічних рішень з удосконалення конструкції РВ і механізмів газорозподілу ЕУТ Д49 дозволить отримати в експлуатації магістрального тепловозу 2ТЕ116 розрахунковий річний економічний ефект у розмірі 192163 грн.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-прикладне завдання з удосконалення технології проектування і ремонту розподільних валів енергетичних установок сучасних тепловозів за умов підвищення їх техніко-економічних показників.

Отримані наукові та практичні результати дозволили зробити наступні висновки:

1. Аналіз особливостей конструкції ЕУТ з V-подібними чотиритактними дизелями Д49, якими обладнано понад 50% магістральних тепловозів експлуатаційного парку Укрзалізниці, показав, що одним з найбільш важливих вузлів є розподільний вал, функціональним призначенням якого є керування процесами паливоподачі і газообміну в

циліндрах ЕУТ. Тому удосконалення конструкції розподільних валів на основі відповідних технологій проектування і ремонту є одним з перспективних напрямків підвищення техніко-економічних показників ЕУТ.

2. Однією з особливостей конструкції розподільного валу ЕУТ Д49 є використання паливних і тангенціальних газорозподільних кулачків, які забезпечують роботу циліндрів правого і лівого рядів. Це визначає високі рівні експлуатаційних навантажень, виникнення ударів і підвищених динамічних навантажень в приводі клапанів, підвищення зносів контактуючих поверхонь основних деталей. Одним з можливих напрямків усунення вказаних недоліків є використання в конструкції розподільних валів безударних газорозподільних кулачків, які забезпечують не тільки потрібні (за умовами робочого процесу) значення ЧП клапанів, а і допустимі рівні навантажень та безударну динаміку приводу.

3. Результати проведеного дослідження свідчать, що при використанні тангенціальних кулачків величина коефіцієнту повноти діаграми підйому впускних і випускних клапанів  $\eta_{II}$  (який характеризує їх ЧП) складає відповідно  $0,57...0,59$ , тому за умов якісного протікання робочого процесу в циліндрах кулачки з безударними профілями повинні забезпечувати такі, а краще більші, значення  $\eta_{II}$ .

4. Проведено дослідження з оцінювання можливостей і доцільності використання на відповідних етапах технології проектування розподільних валів відомих методів профілювання безударних кулачків – методів Дадли В., Курца Д., Драбкіна Я.І. Встановлено, що при використанні таких кулачків забезпечується безударна динаміка клапанного приводу, але їх ефективність за величиною коефіцієнта  $\eta_{II}$  суттєво нижча в порівнянні з тангенціальними кулачками (для кулачків, спрофільованих за методами Дадли В. і Курца Д. не перевищує  $0,54...0,56$ , методом Драбкіна Я.І.–  $0,56...0,57$ ). Це обґрунтовує необхідність розробки нового методу профілювання кулачків для розподільних валів ЕУТ.

5. Висвітлена конфліктність вимог з отримання високих значень коефіцієнту  $\eta_{II}$  та безударної динаміки клапанного приводу, яка визначає складність профілювання нових кулачків для РВ. Тому для проведення відповідного етапу удосконаленої технології проектування розподільних валів доцільно використовувати розроблене формалізоване описання у вигляді задачі багатовимірної оптимізації з обмеженнями.

6. У відповідності до вимог запропонованого формалізованого описання розроблено новий патенто захищений метод профілювання безударних кулачків розподільних валів ЕУТ. Його використання в технології проектування РВ забезпечує отримання високоефективних безударних газорозподільних кулачків для розподільних валів, які забезпечують суттєве збільшення ЧП клапанів при виконанні всіх встановлених вимог і обмежень.

7. При проведенні перевірок виконання умов міцності та прийнятної динаміки необхідно використовувати уточнені методи розрахунку, які враховують просторовість механізму приводу клапанів. Його заміна відповідними векторними контурами дозволила отримати розрахункові залежності для уточненого (до 20% за рівнями прискорень) визначення переміщень, швидкостей та прискорень клапанів.

8. Визначені в результаті експериментальних досліджень пружно-дисипативні параметри клапанного приводу ЕУТ Д49 дозволяють моделювати динамічні процеси, що відбуваються в КМГР і займають важливу роль в технології проектування розподільних валів.

9. Використання в конструкції ЕУТ Д49 розподільних валів з новими безударними газорозподільними кулачками забезпечує високі значення ЧП клапанів, безударну динаміку клапанного приводу при виконанні усіх вимог та обмежень. Так, в порівнянні з тангенціальними кулачками, значення  $\eta_{П}$  збільшується на 12%, що забезпечує збільшення ЧП впускних і випускних клапанів на 18-21% і зниження середньоексплуатаційних витрат палива на 3...5  $\text{л}/(\text{екВт}\cdot\text{год})$ ; рівні максимальних контактних напружень в парах «кулачок-ролик штовхача» зменшуються на 15% для впускних клапанів та на 30% для випускних, що забезпечує збільшення міцності, підвищення надійності та зменшення зносів робочих поверхонь контактуючих деталей.

10. Розроблено технологію виготовлення і встановлення на розподільні вали нових газорозподільних кулачків в умовах підприємств залізничного транспорту України.

11. Впровадження запропонованих технічних рішень з удосконалення конструкції РВ і механізмів газорозподілу ЕУТ Д49 дозволить отримати в експлуатації магістрального тепловозу 2ТЕ116 розрахунковий річний економічний ефект у розмірі 192163 грн.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Основні праці:

1. Мороз В.І. Новий підхід до динамічного синтезу безударних профілів газорозподільних кулачків транспортних дизелів / В.І. Мороз, О.В. Братченко, К.В. Астахова // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2008. – Вип.99. – С. 242-249.

2. Мороз В.І. Розроблення узагальненого формалізованого описання задачі динамічного синтезу безударних профілів кулачків привода клапанів транспортних дизелів / В.І. Мороз, К.В. Астахова // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – Вип. 111. – С. 82-93.

3. Мороз В.І. Математичне моделювання інтегральних деформацій колінчастого валу тепловозного V-подібного дизеля / В.І. Мороз, В.С.Тіщенко, К.В.Астахова // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – Вип. 107. – С.159-163.

4. Мороз В.І. Новий підхід до профілювання газорозподільних кулачків форсованих тепловозних дизелів / В.І. Мороз, О.В.Братченко, О.А. Логвіненко, К.В. Астахова // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2010. – Вип. 119. – С.110-116.

5. Пат. 90952 Україна, МПК F01L 1/08. Кулачок механізму газорозподілу / Мороз В.І., Братченко О.В., Астахова К.В., Тіщенко В.С.; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № а 200813509; заявл. 24.11.08; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 11.

6. Мороз В.І. Результати уточненого моделювання кінематики клапанів локомотивних енергетичних установок з дизелями Д49 / В.І. Мороз, О.В. Братченко, К.В. Астахова // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, 2012. – Вип. № 29. – С. 166-171.

7. Мороз В.І. Результати експериментального дослідження механізму газорозподілу локомотивної енергетичної установки Д49 / В.І. Мороз, О.В. Братченко, О.А. Логвіненко, К.В. Астахова // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, 2012. – Вип. 129. – С.13-19.

### Праці апробаційного характеру:

8. Мороз В.І. Розробка скінченно-елементної моделі для дослідження НДС розподільних валів форсованих транспортних дизелів / В.І. Мороз, О.В.Братченко, К.В. Астахова // Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції [«Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я»], (м. Харків, 20-22 травня 2009 року). – Ч.1 – Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2009. – С.209.

9. Мороз В.І. Особливості синтезу безударних профілів газорозподільних кулачків транспортних дизелів / В.І. Мороз, О.В. Братченко, К.В. Астахова / *Materialy V Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji* [«Naukowa Przestrzeń Europy – 2009»], (07-15 kwietnia 2009 r). – Volume 18. Techniczne nauki. Budownictwo i architektura. – *Przemysł:Nauka i studia*, 2009. – С.33-37.

10. Мороз В.І. Застосування нових підходів до синтезу профілів безударних газорозподільних кулачків сучасних тепловозних дизелів / В.І. Мороз, К.В. Астахова / *Тези доповідей XVIII міжнародної науково-практичної конференції* [«Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я»], (м.Харків, 12-14 травня 2010 року). –Ч.1. – Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2010.– С.265.

11. Мороз В.І. Уточнена методика розрахунку кінематичних характеристик клапанів тепловозного дизеля Д49 / В.І. Мороз, О.В. Братченко, К.В. Астахова / *Тези доповідей XIX міжнародної науково-практичної конференції* [«Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я»], (м. Харків, 01-03 червня 2011 року). –Ч.1. –Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2011.– С.174.

12. Братченко О.В. Розрахунково-експериментальне дослідження динаміки клапанного приводу локомотивних енергетичних установок з дизелем типу Д49 / О.В. Братченко, К.В. Астахова / *Программа и тезисы докладов XXXVI научно-технической конференции преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства*. – Ч.2 Городской электротранспорт, электроснабжение и освещение городов. – Харьков: Харьковская национальная академия городского хозяйства, 2012. – С. 50.

13. Мороз В.І. Особливості підготовки і проведення експериментального дослідження пружно-дисипативних характеристик клапанного приводу локомотивних енергетичних установок з дизелем 6Д49 / В.І.Мороз, О.А. Логвіненко, К.В. Астахова // *Зб. наук. праць УкрДАЗТ: тези доповідей 74-ї міжнародної науково-технічної конференції кафедр Української державної академії залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств*. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 129. – С.238.

#### **Додаткові праці:**

14. Пат. 90955 А Україна, МПК F01L1/08. Кулачок механізму приводу клапана високообертового двигуна внутрішнього згоряння / Мороз В.І., Братченко О.В., Астахова К.В.; заявник та патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № а 200813856; заявл.02.12.2008; опубл.10.06.2010, Бюл. №11.

### **АНОТАЦІЯ**

Астахова К.В. Удосконалення технології проектування і ремонту розподільних валів енергетичних установок тепловозів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Дніпропетровськ, 2012.

Дисертацію присвячено вирішенню актуального науково-практичного завдання з удосконалення технології проектування і ремонту розподільних валів енергетичних установок сучасних тепловозів за умов поліпшення їх техніко-економічних показників.

В роботі проведено аналіз конструкції, функціонування та зношення енергетичних установок тепловозів, запропоновано блочно-ієрархічне описання конструкції ЕУТ з

виділенням підсистеми розподільного валу, проаналізовано існуючі технології проектування та особливості ремонту розподільних валів енергетичних установок тепловозів. Формалізовано описання етапу профілювання газорозподільних кулачків удосконаленої технології проектування розподільних валів енергетичних установок тепловозів у вигляді задачі багатовимірної оптимізації з обмеженнями. У відповідності до запропонованого формалізованого описання розроблено новий патенто захищений метод профілювання високоефективних безударних кулачків. Для проведення перевірок виконання умов міцності та прийнятної динаміки запропоновано уточнені методи розрахунку кінематичних та динамічних характеристик просторових механізмів газорозподілу енергетичних установок тепловозів з дизелями Д49. На основі запропонованого нового методу профілювання газорозподільних кулачків проведено розрахунок координат профілів кулачків, відповідних кінематичних та динамічних характеристик. Пророблено технологію виготовлення і встановлення на розподільні вали нових патенто захищених безударних газорозподільних кулачків. Здійснено оцінку економічної ефективності впровадження запропонованих технічних рішень.

*Ключові слова:* енергетична установка тепловозу, розподільний вал, кулачковий механізм газорозподілу, час-переріз клапанів, технологія.

## АННОТАЦІЯ

Астахова К. В. Усовершенствование технологии проектирования и ремонта распределительных валов энергетических установок тепловозов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины, Днепропетровск, 2012.

Диссертация посвящена решению актуального научно-практического задания по усовершенствованию технологии проектирования и ремонта распределительных валов энергетических установок современных тепловозов по условию улучшения их технико-экономических показателей.

В работе проведен анализ особенностей конструкции, функционирования и износа распределительных валов энергетических установок тепловозов, предложено блочно-иерархическое описание конструкции энергетических установок тепловозов с выделением подсистемы распределительного вала, что позволило учесть межсистемные связи при решении задачи усовершенствования его конструкции. Проанализированы существующие технологии проектирования и особенности ремонта распределительных валов энергетических установок тепловозов.

Формализовано описание этапа профилирования газораспределительных кулачков усовершенствованной технологии проектирования распределительных валов энергетических установок тепловозов в виде задачи многомерной оптимизации с ограничениями. Использование данной технологии и предложенных подходов к решению задачи позволяют решать задачи создания новых и модернизации существующих распределительных валов при условии улучшения показателей топливной экономичности и надежности энергетических установок тепловозов. В соответствии с предложенным формализованным

описанием разработан новый патентозащищенный метод профилирования высокоэффективных безударных кулачков, особенностью которого является формирование и дальнейшее использование базовой кривой ускорений толкателя, которая в отличие от известных кривых учитывает не только заданные по требованиям рабочего процесса условия, но и установленные ограничения на изготовление и характеристики функционирования кулачкового механизма газораспределения. Для проведения проверок выполнения условия прочности и приемлемой динамики предложены уточненные методы расчета кинематических и динамических характеристик пространственных механизмов газораспределения энергетических установок тепловозов с дизелями Д49.

На основе предложенного нового метода профилирования газораспределительных кулачков проведен расчет координат профилей кулачков, соответствующих кинематических и динамических характеристик, анализ которых подтвердил достижение высоких значений времени-сечения впускных и выпускных клапанов и понижение динамических нагрузок в КМГР ЭУТ Д49 при использовании на распределительном валу новых безударных газораспределительных кулачков. Проработана технология изготовления и установки на распределительные валы новых патентозащищенных безударных газораспределительных кулачков. Выполнена оценка экономической эффективности внедрения предложенных технических решений.

*Ключевые слова:* энергетическая установка тепловозов, распределительный вал, кулачковый механизм газораспределения, время-сечение клапана, технология.

## THE SUMMARY

Astakhova K.V. The improvement of the design technology and repair of camshafts diesel power plants. – Manuscript.

Thesis for the scientific degree of Candidate of Technical Science by speciality 05.22.07 – the rolling-stock of railway and draft of trains. – Dnipropetrovsk national university of railway transport, Ministry of Education and Science, Youth and Sport of Ukraine, Dnipropetrovsk, 2012.

Thesis are dedicated to the solution of issue scientific and practical problem of the improvement of the design technology and repair of camshafts modern diesel power plants providing improved conditions of their technical and economic performance. The analysis of design features, performance and wear camshaft diesel power plants, block-hierarchical description of the construction of power plants is carried out, emitting locomotives subsystem camshaft. Existing design technology and features of repair camshaft diesel power plants are analyzed.

The description of the gas distribution segment profiling cams with the advanced technology design of the camshaft diesel power plants in the form of a multidimensional optimization problem with contingencies is formalized. New patented method of profiling high unstressed cams is developed in line with the formalized description. Refined methods of calculation of the kinematic and dynamic characteristics of spatial timing of power plants with diesel locomotives D49 are proposed with aim of verification of the condition and acceptable strength speakers.

Based on the proposed new method of gas distribution cam profiling coordinates of cam profile corresponding to the kinematic and dynamic characteristics are calculated. The technology of production and installation of new camshafts patented unstressed gas distribution cams are worked out. Economic efficiency of the proposed solutions is evaluated.

*Keywords:* diesel power plant, camshaft, cam timing, time-section of the valve, technology.

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

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано з оригіналу автора

Відповідальний за випуск

к.т.н., доц. Братченко О.В.

---

Підписано до друку «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для множних апаратів.  
Умовн.-друк арк. 0,9 Обл.-вид. арк. 0,9  
Замовлення №\_\_\_\_\_, тираж 100 прим.

---

Видавництво УкрДАЗТу. Свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007р.  
Друкарня УкрДАЗТу:61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7