

Українська державна академія залізничного транспорту

Логвіненко Олександр Анатолійович

УДК 629.424.3:621.436.004.69

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ
ГАЗОРОЗПОДІЛУ ЛОКОМОТИВНОЇ
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТИПУ Д80**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2003

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі "Механіка і проектування машин", Міністерство транспорту України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Мороз Володимир Ілліч, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра "Механіка і проектування машин", завідувач кафедри

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор
Головко Владислав Федорович, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра "Вагони", завідувач кафедри

– кандидат технічних наук
Єресько Володимир Пантелійович, конструкторське бюро середньооберткових двигунів Державного підприємства "Завод ім. В.О. Малишева", заступник Головного конструктора

Провідна установа – Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, кафедра "Залізничний транспорт", Міністерство науки і освіти України, м. Луганськ

Захист відбудеться **27 лютого 2003 р. о 13³⁰ годині** на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту, 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий **27 січня 2003 р.**

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Бабанін О.Б.

Логвіненко Олександр Анатолійович

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ
ГАЗОРОЗПОДІЛУ ЛОКОМОТИВНОЇ
ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТИПУ Д80**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат

дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

к.т.н., доц. Братченко О.В.

Підписано до друку " ____ " _____ 2003 р
Формат паперу 60x90/16 Папір офсетний
Умовн.-друк.арк. 0,9 Обл.-вид. арк. 1,1
Замовлення № ____ . Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТу, свідоцтво ДК №112 від 06.07.2000 р.
Друкарня УкрДАЗТу, 61050, м. Харків, пл. Фейєрбаха, 7.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. В сучасних економічних умовах особливого значення набуває подальший розвиток залізничного транспорту в загальному транспортному комплексі України. Це обумовлено зростаючим попитом на залізничні перевезення, якісне задоволення яких визначає необхідність вирішення ряду науково-технічних проблем із забезпечення працездатного стану тягового рухомого складу (ТРС). Особливо це стосується парку магістральних і маневрових тепловозів, який складає понад 30 % загального парку ТРС. При цьому незадовільний технічний стан більшості локомотивних енергетичних установок (ЛЕУ) – типу Д49, Д50 – закордонного виробництва, які відпрацювали свій ресурс, обумовив необхідність переобладнання ТРС перспективними вітчизняними чотиритактними локомотивними енергетичними установками типу Д80 (ЛЕУ Д80).

Результати проведених на залізницях України експлуатаційних випробувань тепловозів з ЛЕУ Д80 визначили доцільність подальшого розвитку науково-дослідних робіт щодо поліпшення їх техніко-економічних показників (ТЕП), особливо з урахуванням перспектив створення енергетичних установок різної потужності (з різними рівнями форсування дизеля Д80 – ЧН 26/27 – за середнім ефективним тиском) для маневрових і магістральних тепловозів.

Актуальність теми. В рішенні науково-технічної проблеми створення ЛЕУ Д80 з високими експлуатаційними показниками особливе місце займають дослідження, спрямовані на забезпечення високого рівня ТЕП дизелів Д80.

В цьому плані поряд з удосконаленням процесів в агрегатах наддуву, паливоподачі, сумішоутворення та згоряння, теплопередачі, актуальними є розробки з поліпшення якості газообмінних процесів в циліндрах, які в значній мірі залежать від характеристик функціонування кулачкового механізму газорозподілу (КМГР). При цьому, як перспективний, розглядається напрямок поліпшення техніко-економічних показників ЛЕУ Д80 шляхом їх модернізації на основі удосконалення конструкції КМГР за рахунок використання розподільних валів з принципово новими профілями кулачків привода впускних і випускних клапанів. Доцільність таких рішень підтверджується розробками з модернізації механізмів газорозподілу ЛЕУ Д49, за результатами яких відзначено суттєве поліпшення показників паливної економічності та екологічності.

Наведене вище обґрунтовує актуальність обраної теми дисертаційної роботи, спрямованої на поліпшення експлуатаційних показників ЛЕУ Д80 за рахунок удосконалення конструкції механізму газорозподілу в запропонованому напрямку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку галузі згідно з Концепцією та Програмою реструктуризації на залізничному транспорті, затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України № 769 від 02.06.1998 р., планом науково-дослідних робіт Української державної академії залізничного

транспорту (УкрДАЗТ) – договір № 13/1Б “Розробка нової концепції і методів проектування технічних засобів нового покоління для залізничного транспорту” (держ. реєстрація № 0100U000823, 2000).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є поліпшення основних експлуатаційних показників ЛЕУ Д80 на основі науково обґрунтованого удосконалення конструкції механізму газорозподілу.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати оцінку доцільності та резервів поліпшення експлуатаційних показників ЛЕУ Д80 за рахунок підвищення якості газообмінних процесів в циліндрах і обґрунтувати раціональний напрямок удосконалення конструкції КМГР. Формалізувати описання обраного напрямку у вигляді задачі оптимізаційного проектування механізму привода клапанів;

- розробити комплект методик для оптимізаційного проектування механізму газорозподілу ЛЕУ, який складають:

- методика отримання профілю кулачка, який забезпечує досягнення найбільших значень "час-переріз" (ЧП) клапанів при заданих умовах та обмеженнях на проектування;

- методика для отримання і контролю динамічних характеристик і показників міцності деталей КМГР з різними профілями кулачків;

- розробити комплексну математичну модель і відповідне програмне забезпечення для практичного використання комплексу розроблених методик при оптимізаційному проектуванні КМГР;

- провести комплексне розрахунково-експериментальне дослідження з метою удосконалення конструкції механізму газорозподілу ЛЕУ Д80, оцінити економічну ефективність запропонованих заходів з його модернізації;

- проробити технологічні питання, пов'язані з виготовленням запропонованих розподільних валів і проведенням модернізації ЛЕУ Д80 на ремонтних підприємствах залізниць України.

Об'єкт дослідження: процеси газообміну в ЛЕУ з чотиритактними дизелями.

Предмет дослідження: конструкція механізму газорозподілу ЛЕУ (з чотиритактними дизелями).

Методи дослідження: при проведенні дисертаційного дослідження використовувалися методи математичного аналізу і прогнозування для оцінки резервів, пов'язаних з удосконаленням конструкції КМГР, теорії оптимізації (постановка і рішення задачі оптимізаційного проектування), теорії механізмів і машин, динаміки і міцності машин, математичного планування експерименту (при розробці методик профілювання кулачків і дослідження динаміки в КМГР), сучасні методи експериментальних досліджень (для визначення пружно-дисипативних параметрів КМГР), математичного моделювання (для оцінки впливу модернізації КМГР на експлуатаційні показники ЛЕУ).

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна результатів роботи полягає у вирішенні наукової задачі – удосконалення конструкції механізму газорозподілу ЛЕУ Д80. У дисертаційній роботі одержані наступні наукові результати:

- науково обґрунтована доцільність подальшого розвитку робіт в напрямку поліпшення експлуатаційних показників ЛЕУ за рахунок модернізації механізму газорозподілу. Вперше сформульовано і формалізовано задачу оптимізаційного проектування кулачкового механізму газорозподілу ЛЕУ (з чотиритактними дизелями) у запису задачі багатомірної оптимізації з обмеженнями;

- розроблена комплексна математична модель для оптимізаційного проектування кулачкового механізму газорозподілу ЛЕУ, яка базується на принципово новій методиці отримання профілів кулачків і набувши подальшого розвитку сучасних методиках моделювання динамічних процесів і контролю міцності деталей клапанного приводу;

- виведені математичні залежності, що описують потрібний закон руху штовхача, використання якого забезпечує досягнення найбільших граничних значень часу-перерізу клапанів при виконанні заданих умов і обмежень на проектування (новизна захищена патентом України – рішення про видачу деклараційного патенту на винахід до заявки № 2002054354);

- дороблений експериментально-розрахунковий метод визначення пружно-дисипативних параметрів орієнтовно до деталей механізму газорозподілу ЛЕУ Д80.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечується використанням елементів сучасної методології проектування і конструювання ТРС, методів теорії механізмів і динаміки та міцності машин, математичного планування експерименту і математичного моделювання, а також використанням апробованих методик і відповідної вимірювально-реєструючої апаратури при проведенні експериментальних досліджень. Крім того, отримані експериментальні і розрахункові результати та розроблені на їх основі рекомендації узгоджуються з відомими результатами робіт у цьому напрямку стосовно енергетичних установок з чотиритактними дизелями Д49.

Наукове значення роботи полягає у тому, що отримані результати доповнюють існуючу наукову базу для створення нових або удосконалення існуючих механізмів газорозподілу ЛЕУ з чотиритактними дизелями.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблені підходи, моделі і програми забезпечують вирішення задач удосконалення механізму газорозподілу ЛЕУ за умов досягнення найбільших значень ЧП клапанів при виконанні різноманітних умов на проектування. Це має суттєве практичне значення для удосконалення існуючих ЛЕУ;

- запропоновано варіант модернізації кулачкового механізму газорозподілу ЛЕУ Д80, який забезпечує суттєве підвищення ЧП клапанів при виконанні усіх заданих умов і обмежень на проектування. Розроблено конструкцію дослідного розподільного валу і технологію модернізації ЛЕУ на підприємствах залізниць України;

- матеріали дисертаційної роботи орієнтовано на використання при створенні нових і модернізації існуючих ЛЕУ, а також у навчальному процесі (у складі відповідних дисциплін) при підготовці спеціалістів і магістрів за спеціальністю "Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту" (про що свідчать акти про впровадження).

Особистий внесок здобувача характеризується наведеними в дисертації головними теоретичними і практичними розробками, які висвітлено в опублікованих у співавторстві працях: наукове обґрунтування доцільності і формалізація відповідної задачі оптимізаційного проектування КМГР [2] – здобувачем формалізована задача модернізації ЛЕУ Д80 за рахунок оптимізаційного проектування кулачкового механізму газорозподілу; нова методика профілювання кулачків [5] – здобувачем отримані математичні залежності для розрахунку координат профілів кулачків; методика експериментального дослідження кулачкового механізму газорозподілу ЛЕУ з визначення пружно-дисипативних параметрів запропонованої динамічної моделі [3,4,7] – здобувачем запропонована багатомасова динамічна модель механізму газорозподілу ЛЕУ Д80, отримано її пружно-дисипативні параметри та проведено розрахункову оцінку погрешностей тензометричних вимірювань з їх визначення; методики для математичного моделювання динамічних параметрів та показників міцності [1,6] – здобувачем проведено математичне моделювання динамічних характеристик механізму привода клапанів дизеля Д80 з серійними та дослідними кулачками, дороблена методика для розрахунків на міцність деталей клапанного привода з урахуванням реальних законів руху клапанів.

В сукупності ці розробки дозволили визначити запропонований варіант модернізації кулачкового механізму газорозподілу ЛЕУ Д80.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на:

- міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми розвитку рейкового транспорту” 2000 р. (Крим, м. Ялта);

- міжнародній науково-технічній конференції кафедр Харківської державної академії залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств “Транспортні коридори – стратегія і тактика розвитку” 2001 р. (м. Харків);

- міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” 2002 р. (м. Харків);

- науково-технічних конференціях, науково-методичних семінарах галузевого рівня 1999...2002 роки (м. Харків).

Повністю робота доповідалась на розширеному засіданні кафедри "Механіка і проектування машин" УкрДАЗТ у листопаді 2002 року за участю членів спеціалізованої вченої ради.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в семи статтях у наукових фахових виданнях, а також у тезах доповідей міжнародних конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна складається зі вступу, трьох розділів, висновку і містить 123 сторінки тексту, 44 ілюстрації, 11 таблиць, список використаних джерел, який включає 104 найменувань і 27 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, розкрито суть і стан проблеми, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. _

В першому розділі дисертації проводилась оцінка резервів поліпшення експлуатаційних показників локомотивних енергетичних установок типу Д80. В якості перспективного напрямку виділено підвищення якості газообмінних процесів в циліндрі за рахунок удосконалення характеристик функціонування кулачкових механізмів газорозподілу. Обґрунтовано, що найбільш раціональним напрямком удосконалення конструкції КМГР є застосування розподільних валів з принципово новими профілями кулачків клапанного привода, ефективність яких оцінюється за величиною ЧП клапанів. Це підтверджується розробками з модернізації механізмів газорозподілу ЛЕУ Д49, за результатами яких (рис. 1) відзначено суттєве поліпшення їх паливної економічності.

Розглянуто комплекс численних умов і вимог на проектування кулачкових механізмів газорозподілу ЛЕУ. Задача профілювання вискоефективних кулачків привода клапанів розглянута як задача багатомірної оптимізації з обмеженнями. В якості критеріального показника ураховується коефіцієнт повноти діаграми підйомів клапанів η_n , який еквівалентний величині їх ЧП. При цьому прями обмеження відбивають інтервали варіювання змінних X (їх вид відповідає прийнятій методиці профілювання) і визначають область можливих рішень D . Основні умови на проектування, що ураховуються в якості функціональних обмежень, формують область припустимих рішень D_x . Тоді загальний запис задачі проектування вискоефективних кулачкових механізмів привода клапанів має вид

$$\begin{aligned} \eta_n(x) &\rightarrow \max \\ x &\in D_x \in D \end{aligned}$$

Аналіз науково-технічної літератури виявив відсутність сучасних методик профілювання кулачків клапанного привода за умов досягнення максимального ЧП клапанів при виконанні вимог на проектування, що ураховуються. Це визначило необхідність розробки комплекту методик для проектування та дослідження високоефективних кулачкових механізмів газорозподілу ЛЕУ.

Другий розділ присвячений розробці комплекту методик для проектування та дослідження високоефективних механізмів газорозподілу ЛЕУ, до якого входять:

- нова методика профілювання високоефективних кулачків привода клапанів ЛЕУ;
- методика розрахунку динамічних характеристик механізму привода клапанів;
- уточнена методика розрахунків на міцність основних деталей клапанного привода.

Основою нової методики профілювання кулачків привода клапанів ЛЕУ є показаний на рис. 2 базовий закон аналогів прискорень штовхача (клапана), який синтезовано за умов досягнення максимальних значень ЧП клапанів з урахуванням основних обмежень на проектування. При цьому, з метою забезпечення прийнятних динамічних характеристик КМГР кожна ділянка закону окреслюється кривою степеневі функції за умов безперервності третьої похідної переміщень штовхача (пульсу) на границях ділянок і в їх межах.

Основні параметри базового закону аналогів прискорень штовхача наведені нижче:

\ddot{x}_1 – аналог додатних прискорень штовхача в кінці ділянки **I**, вибирається з врахуванням технологічного обмеження мінімального радіуса кривизни ввігнутої ділянки конструктивного профілю кулачка (аналогі прискорень на кожній з ділянок представляють собою: $\ddot{x} = \frac{d^2s}{d\varphi^2}$, де s - поточне переміщення штовхача; φ - поточний кут обертання кулачка);

m_1, m_2 – коефіцієнти збільшення додатних прискорень відповідно на ділянках **II** і **III**, призначаються за умов виконання обмеження за мінімальним радіусом кривизни ввігнутої ділянки профілю і контролю контактних напружень в кінематичній парі кулачок-ролик штовхача;

\ddot{x}_2 – аналог від'ємних прискорень штовхача в кінці ділянки **IV**, вибирається з умов забезпечення потрібного запасу клапанних пружин за силами інерції;

k_1, k_2 – коефіцієнти збільшення від'ємних прискорень відповідно на ділянках **V** і **VI**, призначаються за умов забезпечення потрібного запасу клапанних пружин за силами інерції та безрозривною динамікою КМГР;

Φ_0 – довжина ділянки компенсації теплового зазору;

$\Phi_1 \dots \Phi_4$ – довжини ділянок базового закону прискорень штовхача;

φ_1, φ_2 – довжини ділянок додатних і від'ємних прискорень штовхача;

$\varphi_e = \varphi_1 + \varphi_2$ – фазовий кут віддаляння.

На підставі проведених досліджень запропоновані формули для визначення поточних значень аналогів прискорень a_{q_i} , аналогів швидкостей V_{q_i} і підйомів S_i для кожної ділянки базового закону:

Ділянка **0**: $0 \leq \varphi \leq \Phi_0$

$$a_{q_0} = B_0 \sin(k\varphi);$$

$$V_{q_0} = \left[\frac{B_0}{A_0} (1 - \cos(k\varphi)) \right];$$

$$S_0 = \frac{B_0}{A_0} \left[\varphi - \frac{1}{k} \sin(k\varphi) \right];$$

де A_0, B_0 – фіксовані константи

$$A_0 = \frac{\pi}{\Phi_0}; \quad B_0 = \frac{S_0 \max A_0}{\Phi_0};$$

Ділянка **I**: $0 \leq \varphi \leq \Phi_1$

$$a_{q_1} = A_1 \varphi^3 + B_1 \varphi^2 + C_1 \varphi;$$

$$V_{q_1} = \frac{A_1}{4} \varphi^4 + \frac{B_1}{3} \varphi^3 + \frac{C_1}{2} \varphi^2 + V_{q_0}$$

$$S_1 = \frac{A_1}{20} \varphi^5 + \frac{B_1}{12} \varphi^4 + \frac{C_1}{6} \varphi^3 + V_{q_0} \varphi + S_0;$$

де A_1, B_1, C_1 – фіксовані константи

$$A_1 = -\frac{B_1}{3\Phi_1}; \quad B_1 = -3 \frac{\ddot{x}_1}{\Phi_1^2}; \quad C_1 = 3 \frac{\ddot{x}_1}{\Phi_1};$$

$$A_1 = \frac{\ddot{x}_1}{\Phi_1^3}.$$

Ділянка **II**: $0 \leq \varphi \leq \Phi_2$

$$a_{q_2} = A_2 \varphi^3 + C_2;$$

$$V_{q_2} = \frac{A_2}{4} \varphi^4 + C_2 \varphi + V_{q_{1E}};$$

$$S_2 = \frac{A_2}{20} \varphi^5 + \frac{C_2}{2} \varphi^2 + V_{q_{1E}} \varphi + S_{1E};$$

де A_2, C_2 – фіксовані константи

$$A_2 = \frac{\ddot{x}_1(m_1 - 1)}{\Phi_2^3}; \quad C_2 = \ddot{x}_1.$$

Ділянка **III**: $0 \leq \varphi \leq \Phi_1$

$$a_{q_3} = A_3 \varphi^2 + B_3 \varphi + C_3;$$

$$V_{q_3} = \frac{A_3}{3} \varphi^3 + \frac{B_3}{2} \varphi^2 + C_3 \varphi + V_{q_{2E}};$$

$$S_3 = \frac{A_3}{12} \varphi^4 + \frac{B_3}{16} \varphi^3 + \frac{C_3}{2} \varphi^2 + V_{q_{2E}} \varphi + S_{2E};$$

де A_3, B_3, C_3 – фіксовані константи

$$A_3 = -\frac{B_3^2}{4\ddot{x}_1(m_2 - m_1)};$$

$$B_3 = \frac{2\ddot{x}_1(m_2 - m_1) \left[1 + \sqrt{\frac{m_2}{(m_2 - m_1)}} \right]}{\Phi_1}, \quad \text{де } m_2 > m_1;$$

$$C_3 = \ddot{x}_1 m_1.$$

Ділянка IV: $0 \leq \varphi \leq \Phi_3$

$$a_{q_4} = A_4 \varphi^3 + B_4 \varphi^2 + C_4 \varphi;$$

$$V_{q_4} = \frac{A_4}{4} \varphi^4 + \frac{B_4}{3} \varphi^3 + \frac{C_4}{2} \varphi^2 + V_{q_{3E}};$$

$$S_4 = \frac{A_4}{20} \varphi^5 + \frac{B_4}{12} \varphi^4 + \frac{C_4}{6} \varphi^3 + V_{q_{3E}} \varphi + S_{3E};$$

де A_4, B_4, C_4 – фіксовані константи

$$A_4 = -\frac{B_4}{3\Phi_3}; B_4 = \frac{3\ddot{x}_2}{\Phi_3^2}; C_4 = -\frac{3\ddot{x}_2}{\Phi_3};$$

$$A_4 = -\frac{\ddot{x}_2}{\Phi_3^3}.$$

Ділянка V: $0 \leq \varphi \leq \Phi_4$

$$a_{q_5} = A_5 \varphi^3 + C_5;$$

$$V_{q_5} = \frac{A_5}{4} \varphi^4 + C_5 \varphi + V_{q_{4E}};$$

$$S_5 = \frac{A_5}{20} \varphi^5 + \frac{C_5}{2} \varphi^2 + V_{q_{4E}} \varphi + S_{4E};$$

де A_5, C_5 – фіксовані константи

$$A_5 = -\frac{\ddot{x}_2(k_1 - 1)}{\Phi_4^3}; C_5 = -\ddot{x}_2.$$

Ділянка VI: $0 \leq \varphi \leq \Phi_3$

$$a_{q_6} = A_6 \varphi^2 + B_6 \varphi + C_6;$$

$$V_{q_6} = \frac{A_6}{3} \varphi^3 + \frac{B_6}{2} \varphi^2 + C_6 \varphi + V_{q_{5E}};$$

$$S_6 = \frac{A_6}{12} \varphi^4 + \frac{B_6}{6} \varphi^3 + \frac{C_6}{2} \varphi^2 + V_{q_{5E}} \varphi + S_{5E};$$

де A_6, B_6, C_6 – фіксовані константи

$$A_6 = \frac{B_6^2}{4\ddot{x}_2(k_2 - k_1)}; B_6 = \frac{-2\ddot{x}_2(k_2 - k_1) \left[1 + \sqrt{\frac{k_2}{(k_2 - k_1)}} \right]}{\Phi_3};$$

$$C_6 = -\ddot{x}_2 k_1 \quad \text{де } k_2 > k_1.$$

В представлених формулах постійні інтегрування $S_{1E}, S_{2E}, S_{3E}, S_{4E}, S_{5E}, V_{q_{1E}}, V_{q_{2E}}, V_{q_{3E}}, V_{q_{4E}}, V_{q_{5E}}$ визначаються за умов плавного сполучення ділянок профілю кулачка, тобто рівнянь підйомів S штовхача, а також першої V_q та другої a_q похідної за кутом обертання кулачка в точках з'єднання окремих кривих на ділянках, а також забезпечення в кінці фази віддалення умов $S = S_{max}$ і $V_q = 0$.

В рамках розробки методики розрахунку динамічних характеристик механізму привода клапанів ЛЕУ для точного опису динамічних процесів, які відбуваються в найбільш важливих елементах КМГР (кулачок-штовхач, штовхач-штанга, штанга-коромисло, коромисло-траверса і траверса-клапани) розглянуто використання трьохмасової динамічної моделі (ДМ).

В узагальненому описанні для багатомасових динамічних моделей рівняння руху у матричній формі має наступний вигляд

$$M\{\ddot{q}\} + K\{\dot{q}\} + C\{q\} = \{F\}$$

де $\{q\}, \{\dot{q}\}, \{\ddot{q}\}$ – матриці-стовпці переміщень (рухомостей), швидкостей та прискорень відповідних мас;

$\{F\}$ – узагальнені сили, які відповідають координатам $\{q\}$;

M – матриця мас (інерційна матриця).

З урахуванням того, що в дослідженнях динаміки КМГР локомотивної енергетичної установки в рамках дисертаційної роботи контролюються умови безрозривної роботи клапанного привода, а також визначаються реальні закони руху клапанів, в основу методики покладена узагальнена ДМ, якій відповідають наведені нижче рівняння руху в абсолютному та відносному виді

$$\begin{aligned} y^{\text{III}} + \frac{b}{m_{36} \cdot \omega} y^{\text{II}} + \frac{c_{36} + c}{m_{36} \cdot \omega^2} y &= \frac{b_1}{m_{36} \cdot \omega} x^{\text{II}} + \frac{c_{36}}{m_{36} \cdot \omega^2} x - \frac{F_0 + F_{62}}{m_{36} \cdot \omega^2} \\ z^{\text{III}} + \frac{b}{m_{36} \cdot \omega} z^{\text{II}} + \frac{c_{36} + c}{m_{36} \cdot \omega^2} z &= x^{\text{III}} + \frac{b_2}{m_{36} \cdot \omega} x^{\text{II}} + \frac{c_{36}}{m_{36} \cdot \omega^2} x + \frac{F_0 + F_{62}}{m_{36} \cdot \omega^2} \end{aligned}$$

де $y, y^{\text{II}}, y^{\text{III}}$ – відповідно переміщення, аналоги швидкості та прискорення клапана;

$x, x^{\text{II}}, x^{\text{III}}$ – відповідно зведені до осі клапана переміщення, аналоги швидкості та прискорення штовхача;

$z, z^{\text{II}}, z^{\text{III}}$ – відповідно деформація привода, а також її перша і друга похідна;

ω – кутова швидкість обертання кулачка;

b – сумарний коефіцієнт в'язкості, $b = b_1 + b_2$. (з урахування відсутності пристроїв для гасіння коливань клапанних пружин правомірно прийнято $b_2 = 0$, тобто $b = b_1$).

Умовою безрозривної роботи є $z > 0$.

При цьому до основних параметрів ДМ відносяться зведена маса механізму – $m_{зв}$, зведена жорсткість – $c_{зв}$, зведений коефіцієнт демпфірування – $k_{зв}$.

На основі запропонованої методики при визначених кінематичних характеристиках штовхача, інерційних, силових і пружно-дисипативних параметрах ДМ забезпечується моделювання динамічних характеристик та реальних (з урахуванням динамічних процесів на працюючій ЛЕУ) законів руху клапанів.

Уточнена методика розрахунків на міцність основних деталей клапанного привода (контактних напружень в кінематичній парі кулачок-ролик штовхача, штанги на стійкість та ін.) урахує прояви динаміки привода і базується на використанні реальних законів руху клапанів.

Розроблений комплект методик став основою комплексної математичної моделі та відповідного програмного забезпечення для вирішення задач з удосконалення конструкції механізмів газорозподілу ЛЕУ.

Третій розділ присвячений проведенню комплексного експериментально-розрахункового дослідження з метою вибору варіанту удосконалення конструкції механізму газорозподілу ЛЕУ Д80.

За результатами експериментального дослідження механізму газорозподілу ЛЕУ Д80 на основі аналізу отриманих тензограм загасаючих коливань були визначені пружно-дисипативні параметри, які забезпечують проведення моделювання динамічних процесів і показників міцності в кулачковому механізмі привода клапанів.

Для проектування високоефективних кулачків привода клапанів ЛЕУ Д80 виконувались розрахункові дослідження щодо визначення основних параметрів базового закону прискорень штовхача.

На першому етапі досліджень вибирались параметри m_1, Φ_2 кривої додатних прискорень за умов максимального переміщення штовхача в кінці ділянки III ($S_{3E} \rightarrow \max$) при виконанні обмежень за мінімальним радіусом кривизни ввігнутої частини профілю кулачка ($R_{кр \min} \geq -170 \text{ мм}$) і максимальним кутом тиску ($\beta_{\max} \leq 30^\circ$). При цьому контролювався рівень контактних напружень в парі кулачок-ролик штовхача і коефіцієнт запасу стійкості штанги.

Відповідно до запропонованого в роботі підходу складався ортогональний математичний план другого порядку для двох змінних, що варіюються на трьох рівнях, реалізація якого дала можливість отримати узагальнені математичні моделі виду

$$S_{3E} = f(m_1, \Phi_2); R_{кр \min} = f(m_1, \Phi_2); \beta_{\max} = f(m_1, \Phi_2)$$

Для обґрунтованого вибору параметрів m_1 і Φ_2 була побудована допоміжна номограма з ізолініями фіксованих значень показника S_{3E} і ізолініями функціональних обмежень $R_{кр \min} = -170 \text{ мм}$ і $\beta_{\max} = 30^\circ$.

Другий етап досліджень передбачав отримання основних параметрів кривої від'ємних прискорень (при вже зафіксованих параметрах кривої додатних прискорень) - коефіцієнту зростання від'ємних прискорень k_1 при різних значеннях довжини ділянки додатних прискорень φ_1 , при цьому вибір параметрів виконувався

за умов досягнення максимального значення коефіцієнту η_n при забезпеченні потрібного запасу клапанних пружин за силами інерції $k_{3min} \geq 1,5$, який стосовно базового закону прискорень контролювався виконанням умов $x_{2\ddot{}} \leq -90 \text{ мм/рад}^2$; $x_{2\ddot{}}_{max} \leq -150 \text{ мм/рад}^2$.

Відповідно до запропонованого підходу складався ортогональний математичний план для двох змінних, що варіюються на трьох рівнях k_I і φ_I , реалізація якого дала можливість отримати узагальнені математичні моделі виду

$$\eta_n = f(k_I, \varphi_I); x_{2\ddot{}} = f(k_I, \varphi_I); x_{2\ddot{}}_{max} = f(k_I, \varphi_I)$$

Для остаточного вибору параметрів k_I , φ_I була побудована допоміжна номограма з декількома ізолініями фіксованих значень критеріального показника η_n , а також ізолінії функціональних обмежень $x_{2\ddot{}} = -90 \text{ мм/рад}^2$ і $x_{2\ddot{}}_{max} = -150 \text{ мм/рад}^2$.

На основі сумісного аналізу допоміжних номограм був сформований масив вихідних даних (основні параметри базового закону штовхача) для проектування високоефективних кулачків приводу впускних і випускних клапанів ЛЕУ Д80.

Виконані розрахунки показали, що застосування в КМГР локомотивної енергетичної установки Д80 розподільних валів з дослідними кулачками замість серійних забезпечить підвищення коефіцієнту η_n з 0,58 до 0,67, що відповідає збільшенню ЧП клапанів на 15% (рис.3).

Аналіз результатів моделювання динамічних характеристик КМГР з дослідними високоефективними кулачками показав, що застосування запропонованих профілів забезпечує виконання умови безрозривної роботи механізму клапанного приводу. Проведені за уточненою методикою розрахунки контактних напружень в кінематичній парі кулачок-ролик штовхача та штанги на стійкість підтвердили працездатність КМГР з дослідними кулачками.

Остаточна ефективність проведених робіт з удосконалення конструкції КМГР підтверджувалась результатами математичного моделювання робочого процесу ЛЕУ Д80 на режимах тепловозної характеристики. В якості показника паливної економічності ураховувалася середньоексплуатаційна витрата палива, що визначається за формулою

$$g_{e,sp,e} = K_n \cdot \frac{\sum_{i=1}^n Ne_i \cdot g_{e_i} \cdot \bar{\tau}_i}{\sum_{i=1}^n Ne_i \cdot \bar{\tau}_i}$$

де K_n – коефіцієнт, який враховує вплив перехідних процесів (для ЛЕУ магістральних тепловозів $K_n = 1,05 \dots 1,06$);

$Ne_i, g_{e_i}, \bar{\tau}_i$ – відповідно ефективна потужність, питома ефективна витрата палива та відносний час роботи на i -ому режимі експлуатаційної характеристики.

Моделювання робочого процесу ЛЕУ Д80 на режимі тепловозної характеристики проводилося з використанням відповідної математичної моделі при урахуванні значень прохідних перерізів впускних і випускних клапанів, які визначаються профілями запропонованих високоефективних кулачків. Отримані результати (рис. 4) засвідчили, що за рахунок впровадження запропонованого

варіанту удосконалення конструкції механізму газорозподілу досягається суттєве зниження середньоексплуатаційних витрат палива (на 3%).

Виконано проробку технологічних питань з виготовлення дослідних розподільних валів і проведення модернізації ЛЕУ Д80 на ремонтних підприємствах залізниць України. При цьому очікуваний річний економічний ефект від модернізації ЛЕУ Д80 на одну секцію тепловоза 2ТЕ116 експлуатаційного парку складає 16 тис. грн.

ВИСНОВКИ

Дисертація містить отримані автором наукові результати, що у сукупності дають можливість зробити висновок про те, що їх застосування дозволить вирішити наукову задачу удосконалення конструкції механізму газорозподілу ЛЕУ Д80, тим самим підвищити ефективність та надійність функціонування ТРС залізниць. На підставі проведених у дисертації досліджень можна зробити наступні висновки:

- формалізовано задачу модернізації ТРС з перспективними вітчизняними чотиритактними ЛЕУ Д80;

- виконано оцінку доцільності і резервів поліпшення експлуатаційних показників ЛЕУ Д80. Встановлено, що перспективним напрямком їх поліпшення є модернізація ЛЕУ на основі удосконалення конструкції механізму газорозподілу шляхом використання розподільних валів з принципово новими профілями кулачків привода впускних і випускних клапанів;

- розроблено комплект методик для оптимізаційного проектування та дослідження вискоефективних механізмів газорозподілу ЛЕУ до якого входять: нова методика профілювання кулачків привода клапанів ЛЕУ; методика розрахунку динамічних характеристик механізму привода клапанів та уточнена методика розрахунків на міцність основних деталей клапанного привода;

- розроблено комплексну математичну модель і відповідне програмне забезпечення для вирішення задач з удосконалення механізму газорозподілу ЛЕУ з чотиритактними дизелями. Запропоновано варіант удосконалення конструкції механізму газорозподілу ЛЕУ Д80, який передбачає застосування розподільних валів з новими профілями кулачків;

- проведено експериментальне дослідження з визначення пружно-дисипативних параметрів механізму газорозподілу ЛЕУ Д80. Отримані значення коефіцієнтів жорсткостей та демпфірування забезпечують точне математичне моделювання динамічних процесів і показників міцності в КМГР з дослідним розподільним валом;

- проведено комплексне дослідження механізму газорозподілу ЛЕУ Д80 з дослідним розподільним валом. Встановлено, що запропоновані профілі кулачків забезпечують підвищення час-перерізу клапанів на 15%, що за результатами математичного моделювання робочого процесу ЛЕУ Д80 дозволить зменшити середньоексплуатаційні витрати палива на 3%. При цьому забезпечується виконання усіх умов на проектування, прийнятні характеристики динамічних процесів і рівні показників міцності деталей;

- пророблені технологічні питання виготовлення розподільних валів з дослідними кулачками і запропоновано варіант проведення модернізації ЛЕУ Д80 на ремонтних підприємствах залізниць України. Очікуваний річний економічний ефект від модернізації ЛЕУ Д80 складає *16 тис. грн.* (на одну секцію магістрального тепловоза типу 2ТЕ116).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Мороз В.І., Братченко О.В., Логвіненко О.А. Нові підходи до розрахунків на міцність деталей клапанного привода форсованих транспортних дизелів з урахуванням проявів динаміки // Міжвуз. зб. наук. праць Харківської державної академії залізничного транспорту. – Харків: ХарДАЗТ, 2000. – Вип. 44. – С. 35–39.

2. Мороз В.І., Братченко О.В., Логвіненко О.А. Оцінка резервів поліпшення експлуатаційних показників тепловозних дизелів типу Д80 за рахунок модернізації механізму привода клапанів // Міжвуз. зб. наук. праць Харківської державної академії залізничного транспорту: "Підвищення експлуатаційної ефективності тягового рухомого складу залізниць". – Харків: ХарДАЗТ, 2000. – Вип. 41. – С.10–13.

3. Мороз В.І., Братченко О.В., Логвіненко О.А. Розробка динамічної моделі механізму газорозподілу тепловозного дизеля типу Д80 та методика визначення її пружно-дисипативних параметрів // Міжвуз. зб. наук. праць Харківської державної академії залізничного транспорту: "Рухомий склад та спеціальна техніка залізничного транспорту". – Харків: ХарДАЗТ, 2001. – Вип. 46. – С. 21–24.

4. Мороз В.І., Суранов О.В., Братченко О.В., Логвіненко О.А. Особливості визначення погрішностей тензометрування в дослідженнях механізмів газорозподілу чотиритактних дизелів // Зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – Вип. 49. – С. 85-90.

5. Мороз В.І., Братченко О.В., Логвіненко О.А. Методика проектування високоефективних кулачків привода клапанів форсованих тепловозних дизелів // Міжвуз. зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту: "Теплоенергетичні установки та екологія на залізничному транспорті". – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – Вип. 51. – С. 47–53.

6. Мороз В.І., Логвіненко О.А. Оцінка динаміки та ефективності клапанного привода тепловозного дизеля Д80 з серійними і дослідними кулачками // Міжвуз. зб. наук. праць Української державної академії залізничного транспорту: "Підвищення ефективності технології та техніки для виконання вантажно-розвантажувальних, будівельних і колійних робіт на залізничному транспорті". – Харків: УкрДАЗТ, 2002. – Вип. 50. – С. 33–38.

7. Мороз В.І., Братченко О.В., Логвіненко О.А. Експериментальне визначення пружно-дисипативних параметрів механізму газорозподілу тепловозного дизеля Д80 // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – № 1. – С. 15–18.

8. Братченко О.В., Суранов О.В., Логвіненко О.А. Методика експериментального визначення динамічних параметрів деталей механізму привода

клапанів двигунів Д80, Д49 // Матеріали виступів учасників 63-ї міжнародної науково-технічної конференції Харківської державної академії залізничного транспорту і фахівців залізниць (28-30 листопада 2001 р., м. Харків) / Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: ХарДАЗТ. – 2001. – № 5. – С. 108.

9. Мороз В.І., Логвіненко О.А. Підвищення техніко-економічних і екологічних показників дизелів типу Д80 за рахунок модернізації механізму газорозподілу // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Анотації доповідей X міжнародної науково-практичної конференції Харківського політехнічного інституту (16-17 травня 2002 р., м. Харків) "microCAD 2002". – Харків: НТУ ХПІ. – 2002. – С. 142–143.

АНОТАЦІЇ

Логвіненко О.А. Удосконалення конструкції механізму газорозподілу локомотивної енергетичної установки типу Д80. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2003.

Дисертація присвячена рішення актуальної наукової задачі – поліпшенню експлуатаційних показників локомотивних енергетичних установок типу Д80 (ЛЕУ Д80). Перспективним напрямком їх поліпшення зазначено удосконалення конструкції механізму газорозподілу шляхом застосування розподільних валів з принципово новими профілями кулачків привода клапанів. Формалізовано відповідну задачу модернізації механізму газорозподілу ЛЕУ Д80. Розроблено комплект методик і відповідну комплексну математична модель для проектування та дослідження вискоелективних КМГР локомотивних енергетичних установок. Запропоновано варіант удосконалення конструкції кулачкового механізму газорозподілу ЛЕУ Д80, який забезпечує підвищення час-перерізу клапанів на 15% при виконанні всього комплексу вимог на проектування. За рахунок використання розподільних валів з дослідними кулачками може бути досягнуто зниження середньоексплуатаційних витрат палива на 3%. Запропоновані технологія виготовлення розподільних валів з дослідними кулачками та варіант модернізації локомотивних енергетичних установок типу Д80 на ремонтних підприємствах залізниць України.

Ключові слова: локомотивна енергетична установка, експлуатаційні показники, кулачковий механізм газорозподілу, розподільний вал, час-переріз клапанів, середньоексплуатаційні витрати палива, технологія.

Логвиненко А.А. Усовершенствование конструкции механизма газораспределения локомотивной энергетической установки типа Д80. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2003.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи – улучшению эксплуатационных показателей локомотивных энергетических установок типа Д80 (ЛЭУ Д80). Выполнена оценка резервов улучшения эксплуатационных показателей ЛЭУ Д80. В качестве перспективного направления выделено улучшение газообменных процессов в цилиндре за счёт совершенствования характеристик функционирования кулачковых механизмов газораспределения (КМГР). Отмечено, что самым рациональным и экономичным путем совершенствования конструкции КМГР является применение распределительных валов с высокоэффективными кулачками привода клапанов. Формализована задача оптимизационного проектирования кулачковых механизмов привода клапанов, которая представлена в записи задачи многомерной оптимизации с ограничениями.

Разработан комплект методик для проектирования высокоэффективных кулачковых механизмов клапанного привода ЛЭУ, включающий методику профилирования кулачков предельной эффективности (по величине время-сечения клапанов) с учётом налагаемых требований и ограничений на проектирование; методику расчёта динамических характеристик КМГР; методику уточнённых расчётов на прочность его основных деталей с учётом протекающих на работающей ЛЭУ динамических процессов. На основе этих методик разработана комплексная математическая модель для проектирования и исследования высокоэффективных КМГР локомотивных энергетических установок.

Выполнен комплекс работ по усовершенствованию конструкции кулачкового механизма газораспределения ЛЭУ Д80. В соответствии с предложенной методикой в ходе расчетно-экспериментального исследования определены основные параметры динамической модели КМГР локомотивной энергетической установки типа Д80. В результате проведенных расчётных исследований сформирован массив исходных данных на профилирование высокоэффективных кулачков с учётом всех налагаемых требований и ограничений на проектирование. Проведены расчёты координат для профилирования высокоэффективных кулачков газораспределения ЛЭУ Д80, обеспечивающие повышение время-сечение клапанов на 15% при выполнении всего комплекса требований на проектирование. Моделирование динамических характеристик и оценка прочности основных деталей клапанного привода подтвердили работоспособность КМГР с опытными кулачками. Эффективность предложенного варианта усовершенствования конструкции КМГР подтверждена результатами моделирования рабочего процесса ЛЭУ Д80 с опытным распределительным валом на режимах тепловозной характеристики. Полученные результаты свидетельствуют о снижении среднеэксплуатационного расхода топлива на 3%. Разработана технология изготовления распределительных валов с опытными кулачками и модернизации ЛЭУ Д80 на ремонтных предприятиях железных дорог Украины.

Ожидаемый годовой экономический эффект от экономии дизельного топлива при внедрении предложенного варианта усовершенствования конструкции КМГР локомотивной энергетической установки на одну секцию магистрального тепловоза 2ТЭ116 эксплуатационного парка составляет 16 тыс. грн.

Ключевые слова: локомотивная энергетическая установка, эксплуатационные показатели, кулачковый механизм газораспределения, распределительный вал, время-сечение клапанов, среднеэксплуатационный расход топлива, технология.

Logvinenko A.A. Design sophistication the timing gear locomotive of power plant type a Д80. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.22.07 – the rolling-stock of railway and draft of trains. – Ukrainian state academy of a railway transport, Kharkov, 2003.

The dissertation is devoted to the decision of a urgent scientific problem – improvement of operation parameters locomotive of power plants type a Д80 (LPP Д80). By perspective direction of their meliorating is design sophistication the timing gear at the expense of applying camshafts with new profiles tappets driving of flaps. Is formalised problem modernisation the timing gear LPP Д80. Is designed the kit of the method of applications and applicable all-up mathematical model for engineering and study of high-performance the tappet timing gear the locomotives of power plants. The alternative of advancing is proposed design sophistication the tappet timing gear LPP Д80, which one ensures a heightening time - section of flaps on 15%. At the expense of usage camshafts with experimental tappets the drop can be reached average operational fuel expense on 3%. Are proposed technology process camshafts with experimental tappets and alternative modernisation LPP Д80 on repair the plant railway of Ukraine.

Keywords: locomotive a propulsive plant, operation parameters, the tappet timing gear, camshaft, time - section of flaps, average operational fuel expenses, technology.

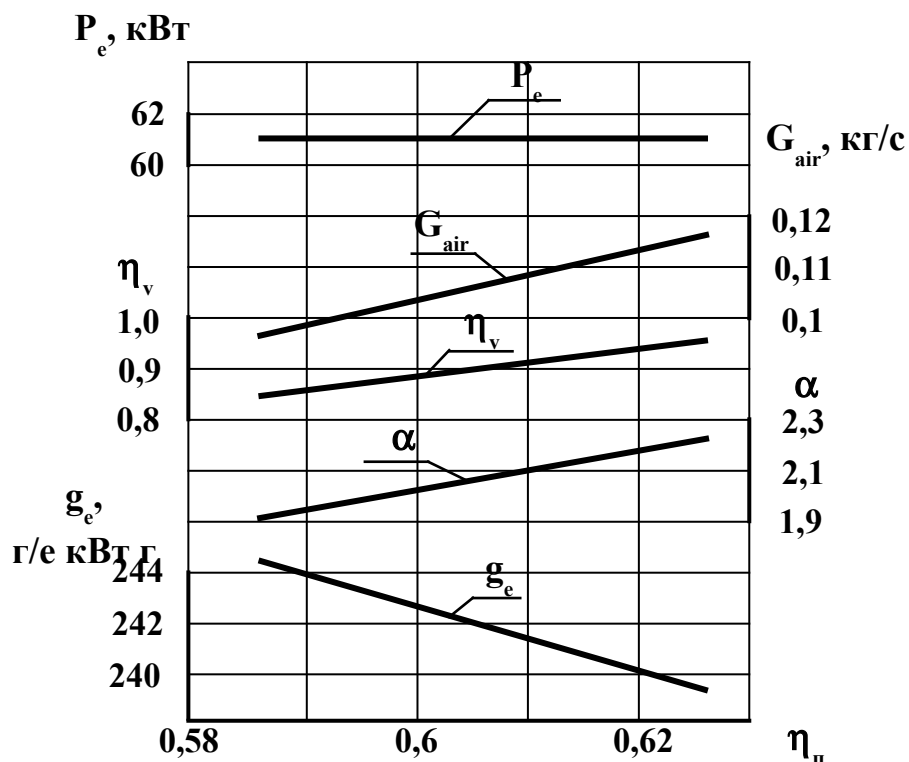


Рис.1. До аналізу результатів модернізації кулачкового механізму газорозподілу ЛЕУ Д49

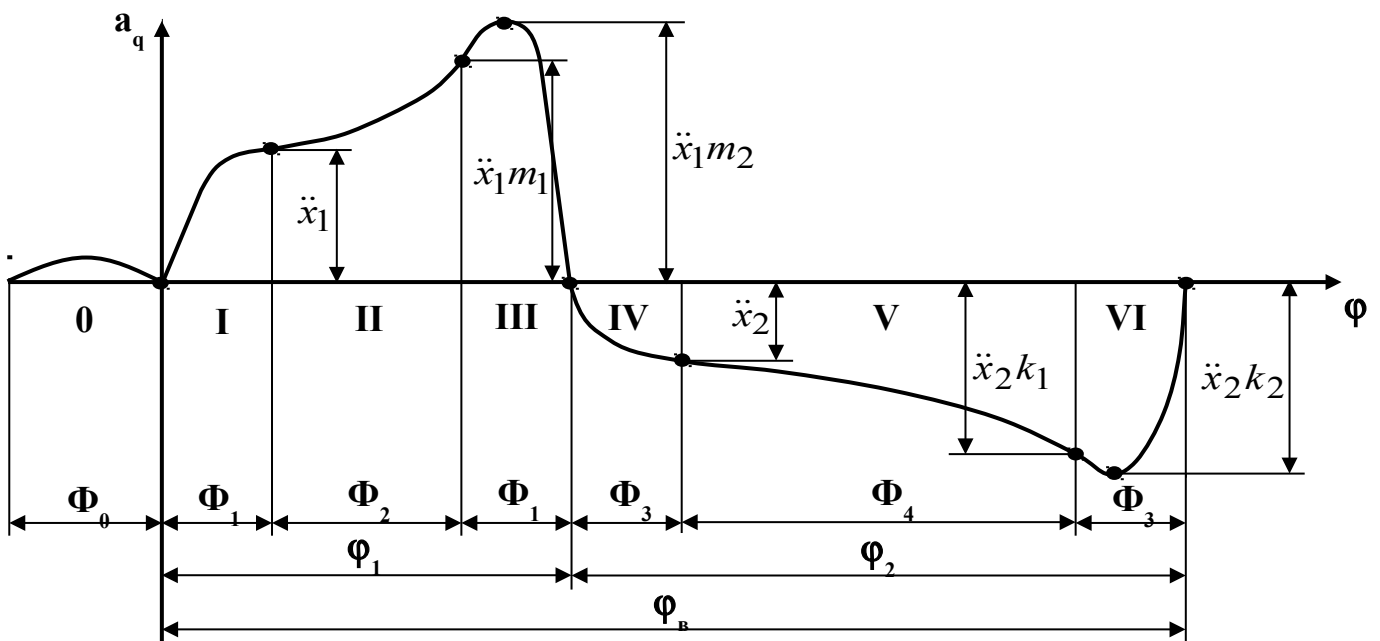


Рис. 2. Базовий закон зміни прискорень клапанів нової методики профілювання кулачків механізмів газорозподілу ЛЕУ

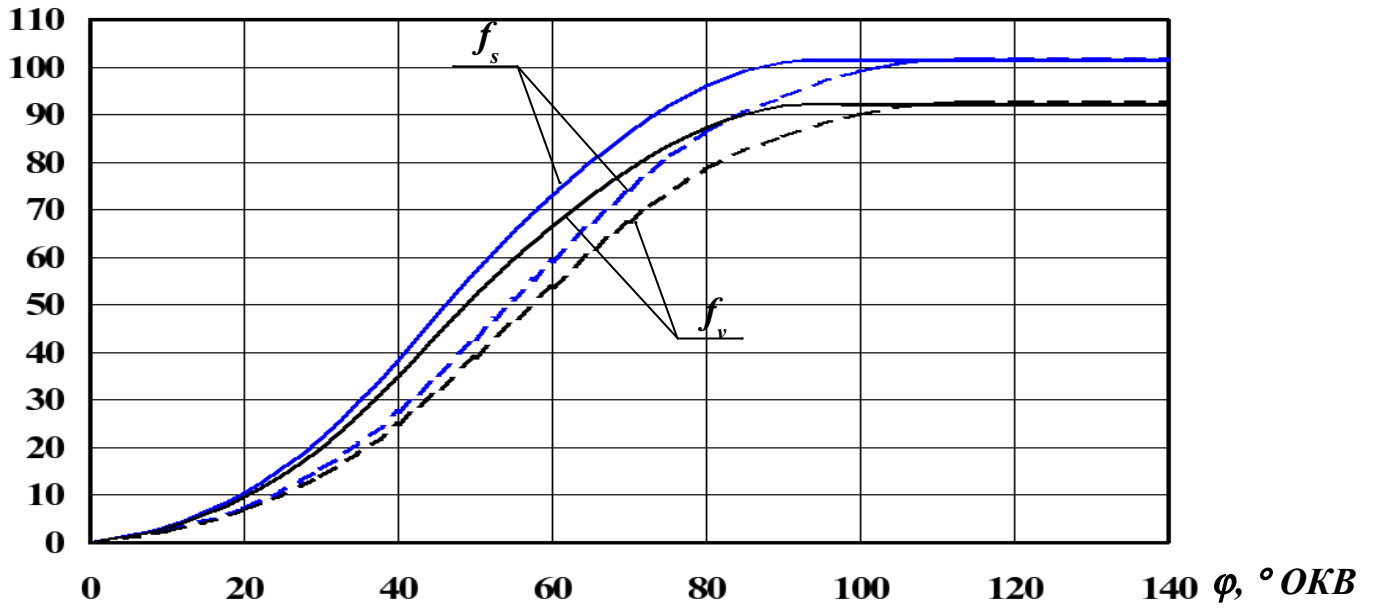
$f_s, f_v, \text{см}^2$


Рис. 3. Прогідні перерізи впускних (f_s) і випускних (f_v) клапанів ЛЕУ Д80 з серійними (---) та дослідними (—) розподільними валами

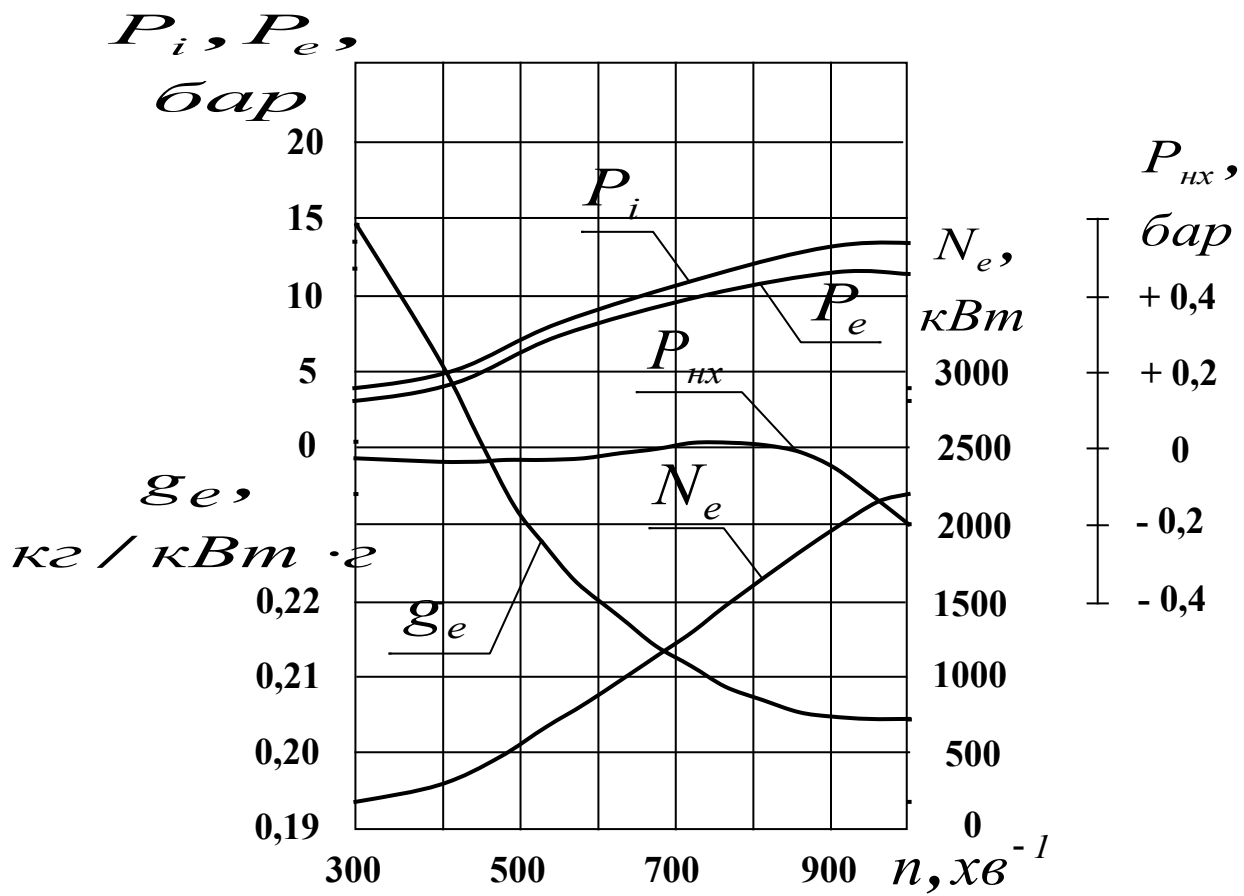


Рис. 4. Результати моделювання робочого процесу ЛЕУ Д80 на режимах тепловозної характеристики