

**ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

**Сергієнко Микола Іванович**

УДК 621.436:621.431.72

**ВИБІР ТА НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ  
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕПЛОВИЗНИХ  
ДИЗЕЛІВ ДЛЯ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКУ УКРАЇНИ**

05.05.03 – теплові двигуни

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2000

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківській державній академії залізничного транспорту (ХарДАЗТ) Міністерства транспорту України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
Єрощенко Станіслав Аркадійович, Харківська  
державна академія залізничного транспорту,  
завідувач кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Шеховцов Анатолій Федорович, Харківський  
державний політехнічний університет, завідувач  
кафедри;

кандидат технічних наук, професор  
Тимченко Ігор Іванович, Харківський державний  
автомобільно-дорожній технічний університет,  
завідувач кафедри.

Провідна установа - Український транспортний університет, кафедра  
“Термодинаміка та двигуни”, Міністерство освіти і науки України, м. Київ,

Захист відбудеться “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2000 року о \_\_\_ годині на  
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.03 при Харківській  
державній академії залізничного транспорту за адресою 61050, м. Харків,  
майдан Фейєрбаха, 7.

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

Автореферат розісланий “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2000 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Лялюк В.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Залізничний транспорт є значним споживачем двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ). Вони використовуються в силових установках тягового та рефрижераторного рухомого складу, дизель-електричних станцій, будівельних і шляхових машин, автотранспорту і споживають більш ніж 540 тис. тон рідкого палива та 25 тис. тон дизельного масла на рік. 85% загальної потужності всіх ДВЗ, які використовуються на залізничному транспорті, припадає на силові установки тягового рухомого складу (ТРС) – тепловози та дизель-поїзди.

Технічний стан парку ТРС “Укрзалізниці” вимагає заміни тепловозних дизелів, які відпрацювали свій моторесурс, на сучасні двигуни. Перспективними для України є дизелі типоряду Д80 (ЧН26/27), розроблені в науково - технологічному підприємстві - конструкторському бюро з середньооберткових дизелів, ДП “Завод ім. В.О.Малишева”, м. Харків.

Вітчизняна промисловість ще не виготовляє такі дизелі серійно. Тому замовник, “Укрзаліниця”, повинен обґрунтувати і сформулювати для заводу - виробника вимоги до їхніх техніко-економічних показників.

Важливими для дизелів ТРС показниками є значення питомих середньоексплуатаційних витрат палива, витрати на ремонт і технічне обслуговування, які мають бути мінімальними. Досягти цього можна шляхом вибору для кожної модифікації дизеля оптимальних конструктивних та регулювальних параметрів. Визначення оптимальних параметрів здійснюється на етапі проектування дизеля і з урахування його призначення та умов експлуатації. Задача вибору оптимальних параметрів модифікацій дизелів типоряду Д80 різного конструктивного виконання та призначення досі не розв’язувалась.

**Актуальність теми дисертації** зумовлена тим, що вона спрямована на обґрунтування та визначення конструктивних, регулювальних та техніко-економічних показників дизелів одного типоряду Д80 з метою зниження фінансових витрат у локомотивному господарстві України.

**Зв’язок роботи з науковими програмами.** Робота виконана згідно з Державною програмою розвитку виробництва двигунів внутрішнього згорання в Україні (1996 р.), Державною програмою “Розвиток рейкового рухомого складу соціального призначення для залізничного транспорту міського господарства (1997 р.) і “Концепцією та програмою реструктуризації на залізничному транспорті України” (1998 р.)

**Мета і задачі дослідження.** Метою є розробка і практична реалізація заходів по створенню сімейства економічних та екологічно чистих тепловозних дизелів одного типоряду з широким діапазоном потужності.

Для досягнення цієї мети необхідно розв’язати такі задачі:

- 1 Провести аналіз технічного стану силових установок тепловозного парку та парку дизель-поїздів, умов їх експлуатації, ремонту та технічного обслуговування, а також аналіз складових фінансових витрат на утримання дизелів ТРС на залізницях України;
- 2 Уточнити базову математичну модель чотиритактних дизелів Харківської державної академії залізничного транспорту (ХарДАЗТ) та адаптувати її для розрахунків характеристик дизелів типоряду Д80;
- 3 Розробити методику визначення конструктивних та регулювальних параметрів дизелів типоряду Д80, які забезпечать мінімум питомих середньоексплуатаційних витрат палива;
- 4 Розробити методику оцінки економічної ефективності переходу на один типоряд тепловозних дизелів;
- 5 Провести розрахункові дослідження, стендові, реостатні та експлуатаційні випробування дослідної партії дизелів 1Д80 (16ЧН26/27) та 4Д80Б (12ЧН26/27);
- 6 Розробити методику урахування впливу перехідних процесів на питомі середньоексплуатаційні витрати палива  $g_{e.c.e.}$ ;
- 7 Розробити рекомендації заводу-виробнику щодо вибору конструктивних та регулювальних параметрів дизелів 1Д80Б (16ЧН26/27), 4Д80Б (12ЧН26/27) та 10Д80Б (6ЧН26/27).

**Наукова новизна** одержаних результатів:

- 1 Отримано емпіричні залежності для визначення характеристик тепловиділення та теплообміну в циліндрі дизеля Д80. Застосування цих залежностей дозволило адаптувати базову модель ХарДАЗТ робочого циклу чотиритактного дизеля для розрахунку характеристик дизелів типоряду Д80.
- 2 Розроблено методику визначення конструктивних та регулювальних параметрів дизелів типоряду Д80, які забезпечать мінімум питомих середньоексплуатаційних витрат палива.
- 3 Розроблено методику оцінки економічної ефективності застосування одного типоряду дизелів в локомотивному господарстві України.
- 4 Запропоновано методику експериментального визначення коефіцієнту  $K_{\Pi}$ , який враховує вплив перехідних процесів на питомі середньоексплуатаційні витрати палива.

**Практичне значення** одержаних результатів:

- 1 Для кожної з трьох модифікацій дизелів, а саме 1Д80Б, 4Д80Б, 10Д80Б, визначено десять конструктивних та регулювальних параметрів, які забезпечать в заданих умовах експлуатації мінімальне значення питомої середньоексплуатаційної витрати палива  $g_{e.c.e.}$ . Рекомендації щодо вибору цих параметрів передано заводу-виробнику.
- 2 Одержано усередненні гістограми завантажень дизелів маневрових тепловозів в експлуатації та запропоновано одногодинний цикл

завантаження дизелів маневрових тепловозів під час реостатних випробувань, який дозволяє визначити питомі середньоексплуатаційні витрати палива;

- 3 Впроваджено методика та програму оперативного визначення експлуатаційної паливної економічності дизелів маневрових тепловозів;
- 4 Для дизелів маневрових тепловозів одержано значення коефіцієнта  $K_{Л}$ , який враховує вплив перехідних процесів на питомі середньоексплуатаційні витрати палива;
- 5 Впроваджено програми розрахунку економічної ефективності від застосування в локомотивному господарстві “Укрзалізниці” одного типоряду дизелів.

#### **Особистий внесок здобувача**

- 1 Одержав нові результати завантаження маневрових та магістральних локомотивів в експлуатації на залізницях України та розробив усереднену гістограму завантаження маневрових тепловозів.
- 2 Вніс доповнення до базової математичної моделі та програми розрахунку параметрів робочого циклу та характеристик дизеля, розроблених у ХарДАЗТ, що дало можливість адекватно розрахувати параметри чотиритактних дизелів типоряду Д80.
- 3 Приєднав програму розрахунку параметрів робочого циклу та ефективних показників чотиритактного дизеля до програми оптимізації, яка реалізує алгоритм методу Хука-Дживса у поєднанні з методом штрафних функцій для врахування обмежень на параметри циклу.
- 4 Розробив цикл завантаження дизеля маневрового тепловоза, який дозволяє за одну годину реостатних випробувань визначити питому середньоексплуатаційну витрату палива.
- 5 Розробив методика визначення економічної ефективності від модернізації парку тепловозів та дизель-поїздів одним типорядом дизелів.
- 6 Одержав експериментально значення коефіцієнта  $K_{Л}$ , який враховує вплив перехідних процесів на питомі середньоексплуатаційні витрати палива.

**Апробація роботи.** Основні положення дисертаційної роботи докладені і обговорені на:

- науково-практичній конференції з проблем захисту повітряного басейну від шкідливих викидів транспортних засобів, Харків, 1997 р.
- третьому конгресі двигунобудівників України (з міжнародною участю), 12.09.1998 р.
- науково-технічних конференціях кафедр Харківської державної академії залізничного транспорту та спеціалістів залізничного транспорту (з міжнародною участю), Харків 1998 р., 1999 р.

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в семи статтях та тезах доповідей міжнародних конференцій.

**Структура роботи.** Дисертаційна робота має вступ, чотири розділи і додаток. Повний обсяг дисертації складає 194 сторінок, з них ілюстрації 39 сторінок ( 54 рисунків), таблиць 34 сторінок ( 40 таблиць), додатків 24 сторінок ( 8 додаток ), список використаних літературних джерел 10 сторінок (121 найменувань).

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розглядається технічний стан ТРС залізничного транспорту України, зокрема силових установок тепловозів і дизель-поїздів. Пропонуються шляхи розв'язання проблеми заміни цих установок вітчизняними дизелями, сформульовані технічні і наукові задачі, що виникають при цьому.

У **першому розділі** розглянуто особливості експлуатації дизелів магістральних і маневрових тепловозів в сучасних умовах на мережі залізниць України. Доведено, що гістограми експлуатаційних режимів зазначених типів тепловозів відрізняються від аналогічних гістограм 10...15-ти річної давнини.

Наведено аналіз експлуатаційних витрат на тепловозну тягу у локомотивному господарстві за 1996 - 1998 роки, звідки випливає, що 32,6% із них припадає на паливо й масло і 20% - на обслуговування і ремонт. У зв'язку із старінням техніки ці витрати зростають. Зазначено, що собівартість ремонту дизеля іноземного виробництва в 1,8...2 рази більша, ніж собівартість ремонту дизеля вітчизняного виробництва. [1].

Зроблено висновок, що основні резерви зниження експлуатаційних витрат на тепловозну тягу знаходяться саме в цих двох статтях витрат. Для зниження витрат на паливо необхідно змінити ідеологію проектування тепловозних дизелів, а замовникам - вимоги до дизелів. Завод - виробник повинен виготовляти тепловозні дизелі, які забезпечать мінімум питомих середньоексплуатаційних витрат палива. Ці витрати визначаються за формулою

$$g_{e.e} = K_{II} \frac{\sum_{i=1}^k N_{e_i} g_{e_i} \tau_i}{\sum_{i=1}^k N_{e_i} \tau_i}, \quad (1)$$

де  $K_{II}$  - коефіцієнт, який враховує вплив перехідних процесів;  $k$  - кількість режимів на тепловозній характеристиці (позицій контролера машиніста);  $N_{e_i}$  - ефективна потужність дизеля на  $i$  - режимі, кВт;  $g_{e_i}$  - питома ефективна витрата палива на  $i$  - режимі, кг/кВт·год;  $\tau_i$  - відносний час роботи дизеля тепловоза на  $i$  - режимі в експлуатації.

Гістограма експлуатаційних режимів має бути задана виробнику замовником дизелів.

Для зниження витрат коштів на обслуговування і ремонт тепловозних дизелів, парк ТРС «Укрзалізниці» має бути оснащений дизелями одного типоряду. Показано, що такими дизелями можуть бути дизелі типоряду Д80 виробництва ДП «Завод ім. В.О. Малишева».

Наприкінці розділу сформульована мета дослідження і методи її досягнення.

У **другому розділі** наведено методики математичного моделювання робочого циклу чотиритактних дизелів типоряду Д80, оптимізації їх конструктивних і регулювальних параметрів за мінімумом  $g_e$  с. е., а також оцінки економічного ефекту від впровадження дизелів даного типоряду [1,2,3,6]. При розрахунках робочого циклу за базову була прийнята модель і програма кафедри «Теплотехніка і теплові двигуни» ХарДАЗТу, яка базується на зонному (термодинамічному) підході до моделювання процесів у газоповітряному тракті дизеля.

Для адаптації цієї моделі до розрахунку дизелів типоряду Д80 до неї внесено ряд уточнень, отриманих за результатами обробки індикаторних діаграм дизеля типу Д70 (ЧН25/27), який був прототипом дизелів Д80. Ці уточнення стосуються способу визначення закону згоряння палива та характеристик теплообміну у циліндрі.

Закон згоряння палива розраховується за формулою І.І.Вібе, у якій показник  $m$  та умовна тривалість згоряння  $\varphi_z$  визначається з таких емпіричних формул:

$$\begin{aligned} m &= 0, \text{ якщо } V \leq 0,6485 \cdot 10^{-3} \text{ кг}, \\ m &= 0,61159 \cdot V \cdot 10^3 - 0,3914971, \text{ якщо } V > 0,6485 \cdot 10^{-3} \text{ кг}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\varphi_z = \varphi_{\text{ннн}} \left( \frac{\alpha_{\text{ном}}}{\alpha_{\text{ц}}} \right)^{0,6} \sqrt{\frac{n_{\text{Д}}}{n_{\text{Д.ном}}}}, \text{ о.к.в.} \quad (3)$$

Коефіцієнт тепловіддачі між робочим тілом і стінками камери згоряння визначається за емпіричними формулами, які мають форму відомих залежностей Г.Вошні та Эйхельберга, але відрізняються значеннями коефіцієнтів та показників ступенів.

Для процесу стискування

$$\alpha_{jcc} = 2,28 K_V D^{-0,2} C_m^{0,8} T^{-0,53} \left( \frac{P}{9,81} \right)^{0,8}. \quad (4)$$

Для процесу горіння

$$\alpha_{jcp} = K_V D^{-0,2} \left( \frac{P}{9,81} \right)^{0,8} T^{-0,53} \left[ 1,56 C_m + \frac{3,24 \cdot 10^{-7} V_h (P - P_o) 10^{-5}}{848 M} \right]^{0,8}. \quad (5)$$

де:

$$K_V = \left[ 3,3 + 4,06942 \cdot 10^{-3} \cdot (n_{Д_{юм}} - n_{Д}) - 4,810467 \cdot 10^{-7} \sqrt{n_{Д_{юм}} - n_{Д}} \right] \cdot 8,06 \cdot 10^{-5} . \quad (6)$$

Для процесу випуску

$$\alpha_{o_{вип}} = 2,684 C_m^{0,333} \sqrt{\frac{PT}{9,81 \cdot 10^4}} . \quad (7)$$

Для процесу наповнення

$$\alpha_{j_{нап}} = 34,16 C_m^{0,333} \sqrt{\frac{PT}{9,81 \cdot 10^4}} . \quad (8)$$

Період затримки спалаху палива в циліндрі двигуна визначається за емпіричною залежністю:

$$\varphi_{зод} = 22,8 \cdot 10^{-6} \cdot n_{Д} \cdot (1 - 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot n_{Д}) \cdot \sqrt{\frac{10^6 T}{P}} \cdot e^{\frac{E_{ак}}{8,314T}} , \quad (9)$$

де  $P$  і  $T$  - тиск і температура робочого тіла в циліндрі, Па і К;

$E_{ак} = 22000$  кДж/кмоль - енергія активації.

Оскільки сьогодні відсутня достатньо достовірна модель розрахунку процесів у відцентровому компресорі, для чотирьох типів компресорів турбокомпресорів ТК-41, ТК-30, ТК-23 і ТК-18 шляхом обробки паспортних характеристик методом найменших квадратів отримані аналітичні залежності витрати повітря  $G_k$  і к.к.д. компресора  $\eta_k$  від двох чинників – частоти обертання ротора  $n_{mk}$  і ступеня підвищення тиску  $\pi_k$  у вигляді поліномів третього ступеня, які вводяться в загальну математичну модель робочого циклу.

У роботі вперше використано метод прямої оптимізації питомої середньоексплуатаційної витрати палива чотиритактного дизеля, яка вважається функцією мети. Розроблені методика та програма дозволяють вести оптимізацію з будь-якою кількістю керованих параметрів.

У дослідженні при заданому типі випускної системи керованих параметрів було дев'ять: ступінь стискування, чотири фази газорозподілу, кут початку впорскування палива, мінімальна площа прохідного перерізу соплового апарата турбіни, об'єми впускних і випускних колекторів.

За обмежувальні параметри були прийняті максимальний тиск згоряння  $P_z$  і середня температура  $t_T$  випускних газів на вході до турбіни. З досвіду експлуатації дизелів Д70 гранично припустимими є  $P_{z \max} = 12$  МПа і  $t_{T \max} = 560^\circ\text{C}$ .

Задача умовної оптимізації перетворювалась на задачу безумовної шляхом застосування методу штрафних функцій. Шукали мінімум допоміжної функції

$$\Phi_i = g_{e.c.e.} + \varphi_1(P_z) + \varphi_2(t_T) \quad (10)$$

де  $g_{e.c.e.}$  - питома середньоексплуатаційна витрата палива, яка визначається за формулою (1);  $\varphi_1(P_z)$  і  $\varphi_2(t_T)$  - штрафи за перевищення



припустимих значень обмежувальних параметрів хоча б на одному із режимів тепловозної характеристики, які визначаються за формулами

$$\varphi_1(P_z) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } P_z \leq P_{z \max}, \\ \xi \cdot [(P_{z \max} - P_z)/P_{z \max}]^2, & \text{якщо } P_z > P_{z \max}, \end{cases} \quad (11)$$

$$\varphi_2(t_T) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } t_T \leq t_{T \max}, \\ \xi \cdot [(t_{T \max} - t_T)/t_{T \max}]^2 & \text{якщо } t_T > t_{T \max}, \end{cases} \quad (12)$$

де  $\xi$  - коефіцієнт, який управляє розміром штрафу.

Процес пошуку мінімуму функції  $\Phi$  здійснювався за алгоритмом Хука-Дживса.

У розділі також викладена запропонована методика визначення економічного ефекту  $\mathcal{E}_{УЗ}$  від застосування одного типоряду дизелів у локомотивному господарстві України [1, 2]. Відмінність її від відомих методик полягає в тому, що вона враховує середньоексплуатаційну витрату палива, рівень уніфікації дизелів і платню за викиди шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Економічний ефект визначається за формулою

$$\mathcal{E}_{УЗ} = \mathcal{E} + \mathcal{E}_{ЗД} + \mathcal{E}_Д + \mathcal{E}_В, \quad (13)$$

де  $\mathcal{E}$  - економічний ефект від зниження собівартості ремонтів (визначається як різниця між річними витратами на ремонт парку дизелів різного типа та однотипних);

$\mathcal{E}_{ЗД}$  - економічний ефект від відмови закупівлі дизелів за кордоном (визначається як різниця між вартістю партії імпортованих та вітчизняних дизелів, віднесеної на один рік з нормативного періоду окупності);

$\mathcal{E}_Д$  - економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат на закупівлю палива та дизельного масла (визначається як різниця річних витрат на паливо та масло для парку дизелів, які порівнюють);

$\mathcal{E}_В$  - економічний ефект від зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами в атмосферу (визначається як різниця між платнею за викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами для парку дизелів, які порівнюються).

У **третьому розділі** наведені результати розрахункового дослідження характеристик тепловозних дизелів 16ЧН26/27(1Д80Б), 12ЧН26/27(4Д80Б), 6ЧН26/27(10Д80), а також 12ЧН26/27(4Д80Б) із системою відключення шести циліндрів на режимах малих навантажень при оптимізації за мінімумом  $g_e$  с.е. .

Для заміни дизелів 1А-5Д49 тепловозів 2ТЭ116, а також для застосування на перспективних магістральних тепловозах рекомендовано шістнадцятициліндрову модифікацію дизеля типоряду Д80 потужністю  $N_e=2205$ кВт із двохколекторною системою ГТН, рівнем форсування  $P_e=1,154$ МПа при  $n=1000$  хв<sup>-1</sup> (дизель 1Д80Б). Досягнуті при оптимізації

показники наведені на рис.1. При цьому питома середньоексплуатаційна витрата палива складе  $g_{e.c.e.} = 0,227...0,229 \text{ кг/кВт}\cdot\text{год}$  при  $K_{IT}=1,05...1,06$ , що на 10% менше, ніж у 1А-5Д49.

Для заміни дизелів К6S310DR тепловозів ЧМЭЗ рекомендовано дванадцятициліндрова модифікація дизелів Д80 із двох - або чотириколекторною випускною системою і рівнем форсування  $P_e=0,924\text{МПа}$  ( $N_e=993\text{кВт}$ ) при  $n=750 \text{ хв}^{-1}$  (дизель 4Д80Б). Питома середньоексплуатаційна витрата палива буде  $0,255...0,257 \text{ кг/кВт}\cdot\text{год}$  при  $K_{IT}=1,07$ , що на 9...10% менше, ніж у чеського К6S310DR. На рис. 2 наведені основні зовнішні та індикаторні показники дизеля 4Д80Б за тепловозною характеристикою. Дизель має чотириколекторну випускну систему та оптимальні конструктивні та регульовальні параметри.

Для поліпшення експлуатаційної паливної економічності дизелів 4Д80 із двохколекторною системою ГТН запропоновано застосувати систему відключення шести циліндрів при роботі на 0...2 позиціях контролера машиніста. При цьому  $g_{e.c.e.}=0,246 \text{ кг/кВт}\cdot\text{год}$  при  $K_{IT}=1,07$ , що на 4,5% та 13,5% менше, ніж у дизелів 4Д80Б і К6S310DR відповідно.

Як альтернатива дизелю 4Д80Б розглянуто дві шестициліндрові модифікації (10Д80) з різними номінальними потужностями (630кВт та 815кВт при  $n_d=750 \text{ хв}^{-1}$ ), з одно- і двохколекторною системою ГТН. Питома середньоексплуатаційна витрата палива у дизелів 10Д80 з одноколекторною системою ГТН склала  $0,2373 \text{ кг/кВт}\cdot\text{год}$  і  $0,2412 \text{ кг/кВт}\cdot\text{год}$  відповідно. Тепловози з такими дизелями доцільно використовувати для виконання господарських і маневрових робіт у локомотивних депо і на станціях, а також на малонавантажених гірках [5, 6]. Тепловозні характеристики дизелів 10Д80 із різними номінальними потужностями наведені на рис.3 і рис. 4.

У **четвертому розділі** дається опис стенду для випробувань дизелів, використаної вимірювальної апаратури, оцінка похибок вимірів, результати стендових, реостатних і експлуатаційних випробувань дизелів 1Д80Б і 4Д80Б, а також розрахунок економічної ефективності від застосування дизелів типоряду Д80 на залізничному транспорті України [7].

Стендові випробування перших зразків дизелів 1Д80Б і 4Д80Б показали, що мають місце суттєві розбіжності між значеннями зовнішніх показників, отриманих розрахунковим і експериментальним методами. Контрольне розбирання дизелів дозволило встановити, що мали місце порушення у технології виготовлення ряду деталей. Ступінь стискування була 12...12,1 замість рекомендованої 12,5, а фази газорозподілу відрізнялися на 5...10 °о.к.в. від рекомендованих.

Для перевірки адекватності математичного моделювання робочого циклу фактичні значення ступеня стискування і фаз газорозподілу були

введені в модель дизеля. Отримані розрахунком зовнішні показники з задовільною похибкою, до 3%, співпали з експериментальними для обох модифікацій [5].

Стендові випробування дизелів 1Д80Б №2 і №5, у яких фактичні значення всіх конструктивних і регулювальних параметрів відповідали рекомендованим, підтвердили отримані розрахунковим методом зовнішні показники (точки на рис. 1 і 2).

Порівняльні експлуатаційні випробування трьох базових тепловозів 2ТЭ116 із дизелями 1А-5Д49 і одного 2ТЭ116 №1069 із дизелями 1Д80Б на тяговому плечі Основа-Полтава показали, що витрата палива на вимірювач ( $10^4$  ткм брутто) у тепловоза 2ТЭ116 №1069 на 5,66% менша, ніж у базових [7].

Для прискореної експериментальної оцінки експлуатаційної економічності дизелів маневрових тепловозів розроблено одногодичний експлуатаційний цикл. Цей цикл отримано шляхом статистичної обробки даних щодо кількості, тривалості і послідовності зміни режимів завантаження маневрових тепловозів (переключень контролера машиніста) на сортувальних гірках Донецької, Південної і Південно-Західної залізниць.

Реостатні випробування тепловоза ЧМЭЗ №5398 із дизелем К6S310DR і тепловоза ЧМЭЗ №2944 із дизелем 4Д80Б, проведені за розробленим одногодичним циклом, показали, що питома середньоексплуатаційна витрата палива в тепловоза ЧМЭЗ N2944 на 8,3% нижче, ніж у ЧМЭЗ N5398.

У розділі наведена методика експериментального визначення значення коефіцієнта  $K_{II}$  у формулі (1). Для дизелів 4Д80Б, встановлених на тепловозах ЧМЭЗ,  $K_{II}=1,07$  [7].

Розрахунок економічної ефективності показав, що економічний ефект від модернізації тепловозного парку “Укрзалізниці” одним типорядом дизелів Д80 складатиме 71,9 млн.грн на рік у цінах 1999 року.

## ВИСНОВКИ

В дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі, яка полягає у виборі та науковому обґрунтуванні техніко-економічних показників тепловозних дизелів для локомотивного парку України.

Тепловозний парк і парк дизель поїздів “Укрзалізниці” на 95% оснащений дизельними силовими установками іноземного виробництва (Росія, Чехія, Угорщина), 28% з яких на початок 2000 р. виробили свій моторесурс, а до 2010 р. вироблять 100%. Їх заміну доцільно робити дизелями вітчизняного виробництва.

Основними статтями експлуатаційних витрат на тепловозну тягу у локомотивному господарстві є витрати на паливо й масло (32,6%) і витрати на ремонт і обслуговування (20%). Для зниження витрат за цими статтями необхідно проектувати вітчизняні дизелі, виходячи з умови досягнення мінімуму середньоексплуатаційної витрати палива, і вони всі повинні бути одного типоряду. Рекомендуються дизелі типоряду Д80 виробництва ДП “Завод ім. В.О.Малишева”.

В роботі:

- уточнено математичну модель ХарДАЗТ робочого циклу чотиритактних дизелів шляхом введення емпіричних рівнянь для розрахунку процесу вигорання палива в циліндрі, теплообміну між робочим тілом і стінками камери згоряння і періоду затримки спалаху палива, що дозволило адаптувати її для розрахунку характеристик дизелів типоряду Д80;
- розроблено методику прямої оптимізації конструктивних і регульовальних параметрів чотиритактних дизелів за мінімумом питомої середньоексплуатаційної витрати палива;
- розроблено методику оцінки економічної ефективності застосування на залізничному транспорті України тепловозних дизелів одного типоряду;
- розрахункове дослідження характеристик трьох модифікацій тепловозних дизелів типоряду Д80 показало, що питома середньоексплуатаційна витрата палива  $g_{e \text{ с.е}}$  при оптимальному складанні дизелів 1Д80Б (16ЧН26/27) і 4Д80Б (12ЧН26/27) на 9...11% менша, ніж у дизелів 1А-5Д49 і К6S310DR тепловозів 2ТЭ116 і ЧМЭЗ відповідно. Застосування системи відключення шести циліндрів на дизелях 4Д80Б дозволяє знизити  $g_{e \text{ с.е}}$  ще на 4.5%. При використанні дизелів 10Д80 (6ЧН26/27) потужністю  $Ne_{\text{ном}}=630$  кВт і  $Ne_{\text{ном}}=815$  кВт на тепловозах ЧМЭЗ зменшення  $g_{e \text{ с.е}}$  складе 18...20% у порівнянні з базовим дизелем К6S310DR;
- стендові випробування дизелів 1Д80Б і 4Д80Б, які мали рекомендовані конструктивні та регульовальні параметри, підтвердили результати розрахункових досліджень;
- порівняльні експлуатаційні випробування трьох тепловозів 2ТЭ116 із дизелями 1А-5Д49 і одного з дизелями 1Д80Б показали, що витрата палива на вимірювач у тепловоза з дизелями 1Д80Б на 5,66% менша, ніж у базових;
- за результатами обробки статистичних даних щодо завантаження дизелів маневрових тепловозів в експлуатації розроблені усереднена гістограма експлуатаційних режимів і одногодинний випробувальний цикл;

- реостатні випробування двох тепловозів ЧМЭЗ за запропонованим одногодинним циклом показали, що  $g_{e.c.e}$  в тепловоза з дизелем 4Д80Б на 8,3% менша, ніж у тепловоза з дизелем К6S310DR;
- розроблено методика експериментального визначення коефіцієнта  $K_{II}$ , який враховує вплив перехідних режимів на питомі середньоексплуатаційні витрати палива і показано, що для дизелів маневрових тепловозів  $K_{II} = 1,07$ ;
- економічний ефект від модернізації тепловозів серій 2ТЭ116, 2М62 і ЧМЭЗ дизелями типоряду Д80 складатиме для "Укрзалізниці" 71,9 млн. грн. на рік;
- рекомендації щодо вибору типу ГТН, конструктивних та регульовальних параметрів дизелів типоряду Д80 прийняті до впровадження в ДП "Завод ім. В.О. Малишева".

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

1. Сергиенко Н.И. Пути снижения эксплуатационных расходов в локомотивном хозяйстве железных дорог Украины. // Залізнич. транспорт України.-1999.- №4. – С. 28-30.
2. Сергиенко Н.И., Скалецкий П.С. Экономическая эффективность модернизации тепловозного парка Укрзалізниці. // Залізнич. транспорт України.- 1999.- №3.-С. 16-17.
3. Ероценков С.А., Крушедольский А.Г., Сергиенко Н.И. Результаты расчетного исследования показателей десятицилиндрового V-образного дизеля типа Д80 по тепловозной характеристике. //Авиационно-космическая техника и технология: Труды Государственного аэрокосмического университета им.Н.Е.Жуковского (Харьковский авиационный институт) – Харьков: Гос. Аэрокос. У-т. «ХАИ».1998 Вып. 5. – С.34-38.
4. Сергиенко Н.И., Михайлов И.Д., Ибрагимов С.А. Опыт проведения экологической паспортизации тепловозов на предприятиях Украины. / Материалы научно-технической конференции по проблеме защиты воздушного бассейна от вредных выбросов транспортных средств. - Харьков.-1997.-С.18-20.
5. Ероценков С.А., Крушедольський О.Г., Сергієнко М.І. Оцінка ступеня досконалості тепловозних дизелів сімейства Д80 // Міжвуз. зб. наук. праць / ХарДАЗТ.-1998.- Вип.32.- С.3-9.
6. Ероценков С.А., Крушедольский А.Г., Пелепейченко В.И., Сергиенко Н.И. Выбор модификации двигателей семейства Д80 для тепловозов ЧМЭЗ. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -1999.-Вып.60. С.40-47.

7. Зайончковский В.Н., Ерощенко С.А., Сергиенко Н.И. Определение эксплуатационных свойств тепловозных дизелей 1Д80 и 4Д80. // *Залізнич. транспорт України*. – 2000.- №2. - С. 18-20.

#### АНОТАЦІЯ

Сергієнко М.І. Вибір та наукове обґрунтування техніко-економічних показників тепловозних дизелів для локомотивного парку України.

Дисертація є рукопис, поданий на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - теплові двигуни. - Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків 2000.

Дисертація спрямована на пошук, обґрунтування і визначення техніко-економічних показників дизелів одного типоряду з метою зниження експлуатаційних витрат у локомотивному господарстві України. У роботі розвинена теорія математичного моделювання характеристик тепловозних чотиритактних двигунів типу Д80 з оптимізацією їх конструктивних і регулювальних параметрів. Розроблено методичку розрахунку і визначено економічний ефект від модернізації тепловозного парку Укрзалізниці одним типорядом дизелів Д80. Одержано результати стендових і експлуатаційних випробувань дизелів 1Д80Б і 4Д80Б. Запропоновано усереднену гістограму режимів завантаження дизеля маневрового тепловоза, одногодичний експлуатаційний цикл для проведення реостатних випробувань та вперше експериментальним методом визначено значення коефіцієнту, який враховує вплив перехідних процесів на середньоексплуатаційні витрати палива дизеля маневрового тепловоза.

Ключові слова: тяговий рухомий склад, питомі середньоексплуатаційні витрати палива, типоряд дизелів, оптимізація параметрів, гістограма експлуатаційних навантажень, випробувальний цикл.

#### SUMMARY

Sergienko N.I. A choice and scientific grounding of technical and economic parameters of diesel locomotive engines for locomotive park of Ukraine.

Dissertation is a manuscript for a scientific degree of a candidate of engineering sciences on the specialty 05.05.03 - heat engines, Kharkov State Academy of Railway Transport, Kharkov 2000.

The dissertation is directed to search, grounding and determination of technical and economic parameters of diesel engines of one type with the purpose of operational (financial) expenses reduction in locomotive facilities of Ukraine. A theory of mathematical modeling of Д80 type four stroke diesel locomotive engines working process with their constructive and regulating parameters optimizing has been developed in this work.

The technique of accounting has been developed and the economic benefit from the modernization of diesel-locomotive park of Ukrzaliznytsia with one

type of four stroke Д80 type diesel engines is determined. Stand and operational tests experimental results of 1Д80Б and 4Д80Б diesel engines has been received. For the first time the coefficient value which takes into account the transition processes influence to a shunting locomotive average operational fuel expenses has been determined experimentally.

Key words: tractive rolling – stock, specific average operational fuel expenses, diesel engines types, optimization of parameters, histogram of operational loadings, testing cycle.

### АННОТАЦИЯ

Сергиенко Н.И. Выбор и научное обоснование технико-экономических показателей тепловозных дизелей для локомотивного парка Украины.

Диссертация является рукописью, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 - тепловые двигатели. - Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2000.

Тепловозный парк и парк дизель-поездов железнодорожного транспорта Украины на 95% оснащен силовыми установками (дизелями) иностранного производства (Россия, Чехия, Венгрия), 28% из которых выработали свой моторесурс, а к 2010 г. потребуется замена их всех.

Диссертация посвящена разработке научно обоснованных требований к тепловозным дизелям, предназначенным на замену иностранных из условия получения отраслью максимального экономического эффекта, а также методов реализации этих требований. Показано, что эффект может быть получен за счет модернизации тепловозного парка дизелями одного типоряда Д80 производства ГП «Завод им. В.А.Малышева», конструктивные и регулировочные параметры которых выбраны из условия обеспечения минимума удельного среднеэксплуатационного расхода топлива  $g_{e\text{ ср.э}}$ . Это позволит снизить две основные статьи эксплуатационных расходов в локомотивном хозяйстве на тепловозную тягу - затраты на топливо и масло и затраты на обслуживание и ремонт, составляющие соответственно 32,6% и 20%.

Рассмотрены условия эксплуатации и особенности ремонта и обслуживания маневровых и магистральных тепловозов. Показано, что гистограммы загрузки обоих типов тепловозов характеризуются большим временем работы на режимах малых нагрузок и холостого хода, чем гистограммы 10-15 летней давности. Затраты на ремонт и обслуживание дизелей составляют 44% от общих затрат по тепловозам, при этом они для отечественных дизелей в 1,8-2 раза меньше, чем для иностранных. По мере старения локомотивного парка эти все затраты растут.

Исследование по определению оптимальных значений конструктивных и регулировочных параметров трех модификаций (16ЧН26/27, 12ЧН26/27, 6ЧН26/27) дизелей типоряда Д80, а также модификации 12ЧН26/27 с отключением шести цилиндров при работе на режимах холостого хода и малых нагрузок, выполнено расчетным методом с использованием уточненной автором математической модели рабочего цикла четырехтактных дизелей и разработанной методики прямой оптимизации, а определение экономического эффекта от внедрения предлагаемых дизелей – с помощью разработанной методики определения экономической эффективности.

Уточнение математической модели рабочего цикла дизеля заключалось в использовании полученных автором характеристик тепловыделения и теплообмена газа со стенками цилиндра.

Методика прямой оптимизации реализует алгоритм Хука-Дживса в сочетании с методом штрафных функций. Функцией цели является минимум удельного среднеэксплуатационного расхода топлива, а управляемыми переменными – девять конструктивных и регулировочных параметров: степень сжатия, четыре фазы газораспределения, угол начала впрыскивания топлива, минимальная площадь проходного сечения соплового аппарата турбины турбокомпрессора, объемы впускного и выпускных коллекторов при заданном типе выпускной системы. В качестве ограничительных параметров использовались максимальное давление сгорания и средняя температура газов на входе в турбину.

Методика определения экономической эффективности от внедрения одного типоряда дизелей Д80 в локомотивном хозяйстве Укрзалізниці отличается от известных тем, что учитывает среднеэксплуатационный расход топлива, уровень унификации дизелей и платежи за выбросы вредных веществ с отработавшими газами.

Приведены результаты стендовых испытаний дизелей 16ЧН26/27 (1Д80Б) и 12ЧН26/27 (4Д80Б), подтвердившие результаты расчетных исследований, а также результаты реостатных и эксплуатационных испытаний тепловозов 2ТЭ116 и ЧМЭЗ, модернизированных дизелями 1Д80Б и 4Д80Б.

Показано, что  $g_{e\text{ ср.э}}$  дизелей этих тепловозов на 5,66% и 8,3% меньше, чем со штатными дизелями 1А-5Д49 и К6S310DR.

Путем обработки статистических данных о времени работы дизелей маневровых тепловозов на отдельных позициях и о порядке смены позиций контроллера машиниста, получена усредненная гистограмма загрузки и предложен одночасовой эксплуатационный цикл, позволяющий в условия реостатных испытаний по разработанной методике определить удельный среднеэксплуатационный расход топлива.



Экспериментальным методам, с использованием разработанного эксплуатационного цикла, определено значение коэффициента  $K_{\Pi}$ , учитывающего влияние переходных процессов на  $g_{с\text{ ср.э}}$ . Для дизелей маневровых тепловозов  $K_{\Pi}=1,07$ .

Показано, что экономический эффект от модернизации тепловозного парка Укрзалізниці одним типорядом дизелей Д80 составляет 71,9 млн. грн. в год в ценах 1999 года.

Ключевые слова: тяговый подвижный состав, удельный среднеэксплуатационный расход топлива, типоряд дизелей, оптимизация параметров, гистограмма эксплуатационных нагрузок, испытательный цикл.

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вибір та наукове обґрунтування  
техніко-економічних показників тепловозних  
дизелів для локомотивного парку України

Сергієнко Микола Іванович

Відповідальній за випуск А.О. Каграманян

---

Підписано до друку  
Формат паперу 64x84 1/16. Папір писальний.  
Друк офсетний. Умови. – друк. арк. 1,0. Обл. – вид. арк.. 1,2  
Замовлення № \_\_\_\_ . Наклад 100 екз.

---

Вид. ХарДАЗТ, м. Харків-50 майд. Фейєрбаха, 7.  
Друк. ХарДАЗТ, м. Харків-50 майд. Фейєрбаха, 7.