

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Білик Сергій Юрійович



УДК 621.436:621.43-44

ОЦІНКА МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ В АВТОТРАКТОРНИХ ДИЗЕЛЯХ З ГАЗОТУРБІННИМ
НАДДУВОМ

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Парсаданов Ігор Володимирович,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», головний науковий співробітник кафедри двигунів внутрішнього згоряння

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Пелепейченко Володимир Ігорович

Державне підприємство «Державний науково-дослідний центр залізничного транспорту України», Харківська філія, м. Харків, головний науковий співробітник

кандидат технічних наук, доцент

Корогодський Володимир Анатолійович

Українська державна академія залізничного транспорту, м. Харків, доцент кафедри теплотехніки та теплових двигунів

Захист відбудеться «30» травня 2013 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.13 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21, кафедра двигунів внутрішнього згоряння, ауд. 11.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий « 29 » квітня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



сетров О.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розповсюдження на автомобільному транспорті і сільськогосподарських машинах в даний час отримали дизелі з газотурбінним наддувом, рідинного охолодження, з безпосереднім впорскуванням палива у камеру згоряння в поршні і двоклапанною головкою циліндра.

Зменшення експлуатаційної витрати палива цих дизелів забезпечують вдосконаленням робочого процесу. Підвищення літрової потужності – впровадженням ефективних систем газотурбінного наддуву і збільшенням частоти обертання колінчастого вала. Для підвищення ресурсу знаходять застосування нові технології, що дозволяють підвищувати зносостійкість поверхонь тертя і знижувати втрати на тертя.

Відомо, що до 20 % палива, що споживається автотракторним дизелем з газотурбінним наддувом, витрачається на подолання механічних втрат. З ростом літрової потужності зростає термічна і механічна напруженість деталей та вузлів дизеля, створюються умови для підвищеного зносу поверхонь тертя. Тому при розробці та доведенні дизелів важливо враховувати і обґрунтовано прогнозувати вплив конструктивних і регулювальних параметрів на зміну механічних втрат. До того ж, при оцінці резервів підвищення техніко-економічних показників автотракторних дизелів в експлуатації важливо знати рівень механічних втрат на кожному з можливих режимів роботи. Існуючі ж рекомендації та методи дозволяють оцінити механічні втрати головним чином тільки на режимі номінальної потужності дизеля.

Оцінка рівня і прогнозування механічних втрат при впровадженні заходів, спрямованих на зменшення експлуатаційної витрати палива, підвищення літрової потужності та ресурсу дизеля, при зміні конструктивних і регулювальних параметрів потребують удосконалення розрахункових та експериментальних досліджень.

Таким чином оцінка і прогнозування механічних втрат в автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом є актуальною задачею, яка визначила напрямок дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Робота виконана на кафедрі ДВЗ НТУ «ХПІ» згідно держбюджетних тем МОН України: «Розробка наукових основ комплексного забезпечення перспективного рівня теплонапруженості та екологізації високофорсованих транспортних двигунів» (ДР № 0109U002385), «Обґрунтування та вибір елементів конструкції ДВЗ при використанні традиційних та альтернативних палив» (ДР № 0111U002265), «Розроблення гальваноплазменної технології обробки поршнів для поліпшення екологічних показників автотракторних дизелів» (ДР № 0107U 009706), у яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Мета й задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка методу оцінки впливу на механічні втрати режимних і конструктивних параметрів, обґрунтування та реалізація рішень, направлених на зниження механічних втрат в автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом.

Для досягнення поставленої мети сформульовані завдання:

- систематизувати показники, структуру, рівень і методи визначення механічних втрат в автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом;
- проаналізувати основні теоретичні положення з оцінки втрат на тертя, газодинамічних втрат та втрат на привід допоміжних агрегатів в двигунах внутрішнього згоряння;
- обґрунтувати доцільність подання у відносному вигляді аналітичних залежностей механічних втрат від впливаючих параметрів у діапазоні робочих режимів, а також методи визначення та моделювання механічних втрат в дизелі з газотурбінним наддувом;

– провести експериментальні дослідження на одноциліндрових і розгорнутих автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом для встановлення впливу конструктивних і режимних параметрів на механічні втрати;

– розробити математичну модель впливу комплексу режимних і конструктивних параметрів на механічні втрати автотракторного дизеля з газотурбінним наддувом в широкому діапазоні частот обертання колінчастого валу та навантажень;

– запропонувати математичний опис для оцінки втрат на тертя в парі поршень-гільза циліндрів при модифікації поверхні поршня та втрат на привід паливного насоса високого тиску при збільшенні тиску впорскування палива.

Об'єкт дослідження – процеси і явища, що чинять безпосередній вплив на зміну механічних втрат в автотракторному дизелі з газотурбінним наддувом.

Предмет дослідження – режимні і конструктивні параметри, що визначають втрати на тертя, газодинамічні втрати і втрати на привід агрегатів систем дизеля.

Методи дослідження. Всі теоретичні положення дисертаційної роботи базуються на фундаментальній теорії теплових двигунів, теорії механізмів і машин, газодинаміки, гідравліки. Метод аналізу показників двигунів внутрішнього згоряння використаний для оцінки рівня механічних втрат дизелів з газотурбінним наддувом. При розрахункових дослідженнях механічних втрат використовувався метод математичного моделювання показників і характеристик дизеля, методи дослідження напружено-деформованого стану пари "гільза циліндра - поршень". Експериментальні методи стендових випробувань застосовані при визначенні впливу режимних і конструктивних параметрів на показники механічних втрат.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Обґрунтована доцільність подання у відносному вигляді аналітичних залежностей механічних втрат від впливаючих параметрів у діапазоні робочих режимів автотракторного дизеля з газотурбінним наддувом.

2. Вперше дана оцінка впливу на втрати тертя, насосні втрати та сумарні механічні втрати комплексу режимних і конструктивних параметрів (C_m , t_m , t_{op} , p_s , p_T , t_s , ε , $\Delta p_{кл}$) для дизелів з газотурбінним наддувом.

3. Удосконалено розрахунковий метод визначення втрат на тертя в парі поршень-гільза циліндрів урахуванням модифікації поверхні поршня.

Практична цінність отриманих результатів для двигунобудування полягає у створенні методів оцінки механічних втрат, які дозволяють провести аналіз показників роботи автотракторних дизелів, що суттєво підвищує рівень проектування, доведення та діагностування дизелів.

Для автотракторних дизелів з газотурбінним наддувом отримані дані про рівень показників, систематизовано структуру та методи визначення механічних втрат.

Для оцінки механічних втрат при зміні конструктивних і режимних впливаючих параметрів запропонований метод «вузлових точок».

В результаті проведених досліджень на одноциліндрових і розгорнутих дизелях ЧН13/11,5 і ЧН12/14 отримані залежності, що дозволяють дати оцінку механічним втратам при зміні конструктивних і режимних параметрів, які також можуть бути застосовані при оцінці механічних втрат в інших автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом, рідинним охолодженням, з безпосереднім впорскуванням палива у камеру згоряння в поршні і двоклапанною головкою циліндра.

Підтверджена ефективність модифікації поршня для отримання пористої поверхні, що дозволяє знижувати втрати на тертя в парі поршень - гільза циліндрів.

Встановлено вплив підвищення тиску впорскування палива при інтенсифікації процесу паливоподачі на механічні втрати в дизелі.

Результати досліджень впроваджені та використовуються в КП «ХКБД» (м. Харків), науково - дослідній лабораторії кафедри ДВЗ НТУ «ХП», а також у навчальному процесі при підготовці студентів за напрямом 6.050503 – «Машинобудування» та спеціальності 7.05050304, 8.05050304 – «Двигуни внутрішнього згорання».

Особистий внесок здобувача. При виконанні дисертаційного дослідження здобувачем особисто:

1. Виконано аналіз сучасних методів визначення механічних втрат в автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом, розроблено методику експериментальних досліджень та обґрунтовано доцільність подання у відносному вигляді аналітичних залежностей механічних втрат від впливаючих параметрів у діапазоні робочих режимів.

2. Запропоновано метод «вузлових точок» для оцінки втрат тертя, насосних втрат та сумарних механічних втрат і вплив на них комплексу конструктивних і регулювальних параметрів, які можна визначити при звичайних стендових дослідженнях дизеля з газотурбінним наддувом.

3. В результаті проведених досліджень на одноциліндрових і розгорнутих дизелях ЧН13/11,5 і ЧН12/14 отримана аналітична багатофакторна модель для визначення механічних втрат при різних поєднаннях режимних і конструктивних параметрів, яка може бути застосована в інших автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом і безпосереднім впорскуванням палива.

4. Виконано аналіз і дана оцінка резервів підвищення техніко-економічних показників автотракторного дизеля з газотурбінним наддувом за рахунок зниження механічних втрат в парі поршень - гільза циліндрів і втрат на привід паливного насоса високого тиску.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати досліджень, які включені в дисертацію, доповідалися на: X, XIV, XV Міжнародних конгресах двигунобудівників (с. Рибаче, 2005, 2009, 2010 рр.); XII, XIII, XV – XVII, XIX Міжнародних науково-технічних конференціях "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я" (м. Харків, 2004-2011 рр.); Всеукраїнських науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми двигунобудування: стан ідеї рішення» (м. Первомайськ, 2007, 2011 рр.); Міжнародних науково-технічних конференціях кафедр академії та спеціалістів залізничного транспорту і підприємств (м. Харків, 2007, 2008, 2010, 2011 рр.); 5-е Луканинские чтения. «Решение энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе». (м. Москва, Росія, 2011 р).

Публікації. Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані у 12 наукових працях, серед них 9 – у фахових виданнях України, 2 – у матеріалах і тезах конференцій.

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг роботи включає 177 сторінки; з них 49 рисунків по тексту, 10 рисунків на 10 окремих сторінках, 11 таблиць по тексту, 107 найменування використаних джерел на 10 сторінках, 4 додатки на 17 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані її мета й основні завдання дослідження, наведені шляхи їхнього рішення, визначено об'єкт і предмет дослідження, наукова новизна й практична цінність роботи, дана інформація про особистий внесок здобувача, апробацію й впровадження результатів роботи.

Перший розділ присвячений аналізу та систематизації показників, структури та рівня механічних втрат в автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом.

Дослідженням по вивченню механічних втрат та їх складових займалися Разлейцев М.Ф., Рик Г.М, Рикардо Г.Р., Луканін В.М., Путінцев С.В., Кольченко В.І. та ін. Узагаль-

ненням наявних даних відзначено, що основна частина механічних втрат ($p_{м.в}$) – до 80 %, припадає на тертя ($p_{тер}$). Значна частина $p_{тер}$ припадає на тертя в парі поршень – гільза та поршневі кільця – гільза (близько 60 % всіх внутрішніх втрат). Втрати на тертя в підшипниках дизеля складають до 20 % від всіх механічних втрат. Насосні втрати ($p_{н.в}$), в сучасних дизелях з газотурбінним наддувом можуть досягати 25 % і більше від сумарних механічних втрат. Втрати на привід допоміжних агрегатів ($p_{доп}$) складають $\sim 5 \div 20$ %.

Недостатність даних для різних режимів роботи, крім режиму номінальної потужності, для якого, головним чином, наводяться значення механічного ККД, призводить до необхідності подальшого експериментального визначення закономірностей зміни втрат, пов'язаних з тертям у вузлах двигуна і на привід допоміжних агрегатів. Як показує досвід, абсолютні значення механічних втрат в двигунах одного і того ж конструктивного виконання, визначені за єдиною методикою, можуть відрізнитися більш ніж на 5 %.

У автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом, що розрізняються компоновальною схемою, конструкцією деталей, діаметром циліндра і ходом поршня, числом циліндрів і поршневих кілець, допоміжними агрегатами механічні втрати, визначені за єдиною методикою, значно відрізняються за величиною (до 20 %), однак мають загальний характер зміни, наприклад, від частоти обертання колінчастого вала.

Тому представляти дані про механічні втрати в широкому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів дизелів, особливо з газотурбінним наддувом, з визначенням впливу конструктивних і режимних параметрів доцільно у відносному вигляді.

Втрати на подолання сил тертя і втрати на привід агрегатів систем двигуна у відносному вигляді, найбільш просто і надійно можуть бути оцінені прокручуванням від стороннього джерела енергії при дотриманні ідентичності параметрів під час прокручування і при роботі двигуна під навантаженням, а насосні втрати – методом індиціювання.

У **другому розділі** для оцінки механічних втрат автотракторних дизелів обрані впливаючі режимні і конструктивні параметри, які можна визначити при звичайних стендових дослідженнях дизеля. Також визначені межі варіювання кожного з них: температура мастила $t_m = 40 \div 90$ °С; температура охолоджувальної рідини $t_{ор} = 50 \div 90$ °С; ступінь стиску $\varepsilon = 13,5 \div 15,5$; швидкість поршня $C_m = 4,6 \div 8,82$ м/с; тиск наддувочного повітря та протитиск на випуску, відповідно $p_s, p_T = 0,1 \div 0,24$ МПа; температура повітря перед клапанами $t_s = 20 \div 65$ °С, безрозмірний комплекс, що характеризує умови здійснення циклу (відношення циклової подачі палива до добутку робочого об'єму на густину) $q_u/(V_h \cdot \rho) = 0,024 \div 0,04$.

Застосування методів математичного моделювання для розв'язання задач визначення втрат в двигуні пов'язано з трудомісткістю класичного емпіричного дослідження через безліч впливаючих факторів і розкиду їх значень, тому доцільно оцінювати механічні втрати в ДВЗ на підставі експериментальних досліджень.

Для складних процесів з великою кількістю впливаючих факторів, в яких відсутня фізична взаємодія між ними або їх взаємний вплив незначний, доцільно застосувати метод вузлових точок (ВТ).

Суть цього методу полягає в тому, що при проведенні експериментального дослідження вибирається точка n – вимірного простору, координати якої задаються певною комбінацією рівнів впливаючих факторів. Ця точка гіперпростору умовно названа вузловою точкою. У ВТ знаходиться значення параметра якості функціонування системи. Подальші дослідження проводяться за планом однофакторного експерименту, але за умови, що всі однофакторні залежності $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)$ пройдуть через ВТ.

Перевагою даного методу є істотна простота побудови плану експерименту і обробки результатів, а також можливість візуальної оцінки зміни параметрів багатофакторних процесів у відносному вигляді, що створює умови для поєднання неформальних і формальних методів дослідження.

До недоліків методу ВТ слід віднести збільшення похибки визначення досліджуваних величин при віддаленні від ВТ. Але враховуючи те, що при дослідженні двигуна фактори мають обмеження меж варіювання, наприклад для автотракторних дизелів $n = 1000 \div 3000 \text{ мин}^{-1}$, $\varepsilon = 13,5 \div 15,5$; $p_s = 0,11 \div 0,3 \text{ МПа}$ тощо, то похибка не може бути значною.

Застосування методу ВТ до дослідження складних процесів визначення механічних втрат в автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом дає можливість істотно скоротити число дослідів, накопичувати інформацію при збільшенні кількості факторів, вирішує проблему сумісності факторів за рахунок зміни розташування ВТ у гіперпросторі, а також значно спростити завдання оптимізації, яке зводиться до знаходження мінімального або максимального значення функцій $f(x_i)$, що входять у вираз

$$P_{i.\hat{a}} = P_{i.\hat{a}_0} \prod_{i=1}^n f_i(x_i), \quad (1)$$

де $P_{i.\hat{a}_0}$ – чисельне значення параметра у ВТ.

Експериментальні дослідження на одноциліндрових та розгорнутих двигунах проводилися на основі розробленої методики в проблемній науково - дослідній лабораторії кафедри ДВЗ НТУ «ХП».

Третій розділ присвячений розробці узагальненої моделі для оцінки впливу режимних і конструктивних параметрів на механічні втрати в швидкохідних дизелях з газотурбінним наддувом.

Оскільки $\delta_{i.\hat{a}} = \delta_{\text{дод}} + p_{i.\hat{a}} + \delta_{\text{аіі}}$, то для знаходження вихідних залежностей $p_{\text{м.в}} = f(C_m, t_m, t_{\text{ор}}, p_s, p_T, t_s, \varepsilon, \Delta p_{\text{кл}})$ спочатку були визначені втрати на тертя і привід агрегатів, а потім насосні втрати.

Вихідні залежності отримані на дослідному одноциліндровому дизелі 1ЧН13/11,5, основні конструктивні елементи і регулювання якого, що впливають на механічні втрати і протікання робочого процесу, відповідають дизелю 6ЧН13/11,5.

Дослідження втрат на тертя показали, що t_s і p_T не чинять помітного впливу на $p_{\text{тер}}$, тому отримана модель для визначення втрат на тертя в залежності від $C_m, t_m, t_{\text{ор}}, p_s, \varepsilon$

$$p_{\text{дод}} = 0,229 \times 1,7708 \cdot \exp(-0,0064 \cdot t_i) \times 1,1832 \cdot \exp(-0,0018 \cdot t_{iD}) \times 0,8402 \cdot \exp(0,0120 \cdot \varepsilon) \times 0,3800 \cdot \exp(0,1207 \cdot \tilde{N}_m) \times 0,6069 \cdot \exp(2,6963 \cdot p_s). \quad (2)$$

Насосні втрати в дизелі з газотурбінним наддувом обумовлені різницею робіт повітря за хід наповнення та газів за хід виштовхування. До насосних втрат також відносять газодинамічні втрати на перетікання заряду між порожнинами камери згоряння. Ці втрати пов'язані з параметрами наддуву (p_s), випуску (p_T) і газодинамічними втратами у клапанах ($\Delta p_{\text{кл}}$)

$$p_{\text{н.в}} = (p_T - p_s) + \Delta p_{\text{кл}}. \quad (3)$$

Обробка експериментальних даних дозволила отримати багатофакторну модель визначення насосних втрат дизеля 1ЧН13/11,5 в залежності від $C_m, \varepsilon, q_{\text{и}}/(V_h \cdot \rho)$

$$p_{i.\hat{a}} = [p_{\text{д}} - \delta_s] + \left(0,0707 \times 0,2527 \cdot \exp(0,1691 \cdot C_m) \times 0,4086 \cdot \exp(0,0616 \cdot \varepsilon) \times \right. \\ \left. \times 0,8233 \cdot \exp(5,8709 \cdot q_{\text{и}} / (V_h \cdot \rho)) \right). \quad (4)$$

На рис. 1 наведені залежності відносних втрат на тертя і відносних втрат у клапанах, що отримані в результаті узагальнення даних досліджень, проведених на одноциліндровому двигуні.

В результаті визначення $p_{\text{тер}}$ та $p_{\text{н.в}}$ для дизеля 1ЧН13/11,5 отримана аналітична багатофакторна модель для визначення механічних втрат дизеля при різних рівнях впливаючих факторів

$$p_{\text{і.а}} = \left(\begin{array}{l} 0,229 \times 1,7708 \cdot \dot{a}xp(-0,0064 \cdot t_i) \times 1,1832 \cdot \dot{a}xp(-0,0018 \cdot t_{iD}) \times 0,8402 \cdot \dot{a}xp(0,0120 \cdot \varepsilon) \times \\ \times 0,3800 \cdot \dot{a}xp(0,1207 \cdot \tilde{N}_m) \times 0,6069 \cdot \exp(2,6963 \cdot p_s) \end{array} \right) + \quad (5)$$

$$+ [p_0 - \delta_s] + \left(\begin{array}{l} 0,0707 \times 0,2527 \cdot \exp(0,1691 \cdot C_m) \times 0,4086 \cdot \exp(0,0616 \cdot \varepsilon) \times \\ \times 0,8233 \cdot \exp(5,8709 \cdot q_0 / (V_h \cdot \rho)) \end{array} \right).$$

Характерною особливістю даної моделі та її графічного відображення (рис. 1) є те, що в вузловій точці при $t_m = 90 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{ор}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$, $p_s = 0,18 \text{ МПа}$, $p_r = 0,18 \text{ МПа}$, $\varepsilon = 14,5$, $C_m = 8,05 \text{ м/с}$, $q_0 / (V_h \cdot \rho) = 0,033$ значення $\bar{p}_{\text{тер}}$ и $\Delta \bar{p}_{\text{кл}} = 1$. Для даного двигуна значення $p_{\text{м.в}}$ у вузловій точці склало $0,2997 \text{ МПа}$.

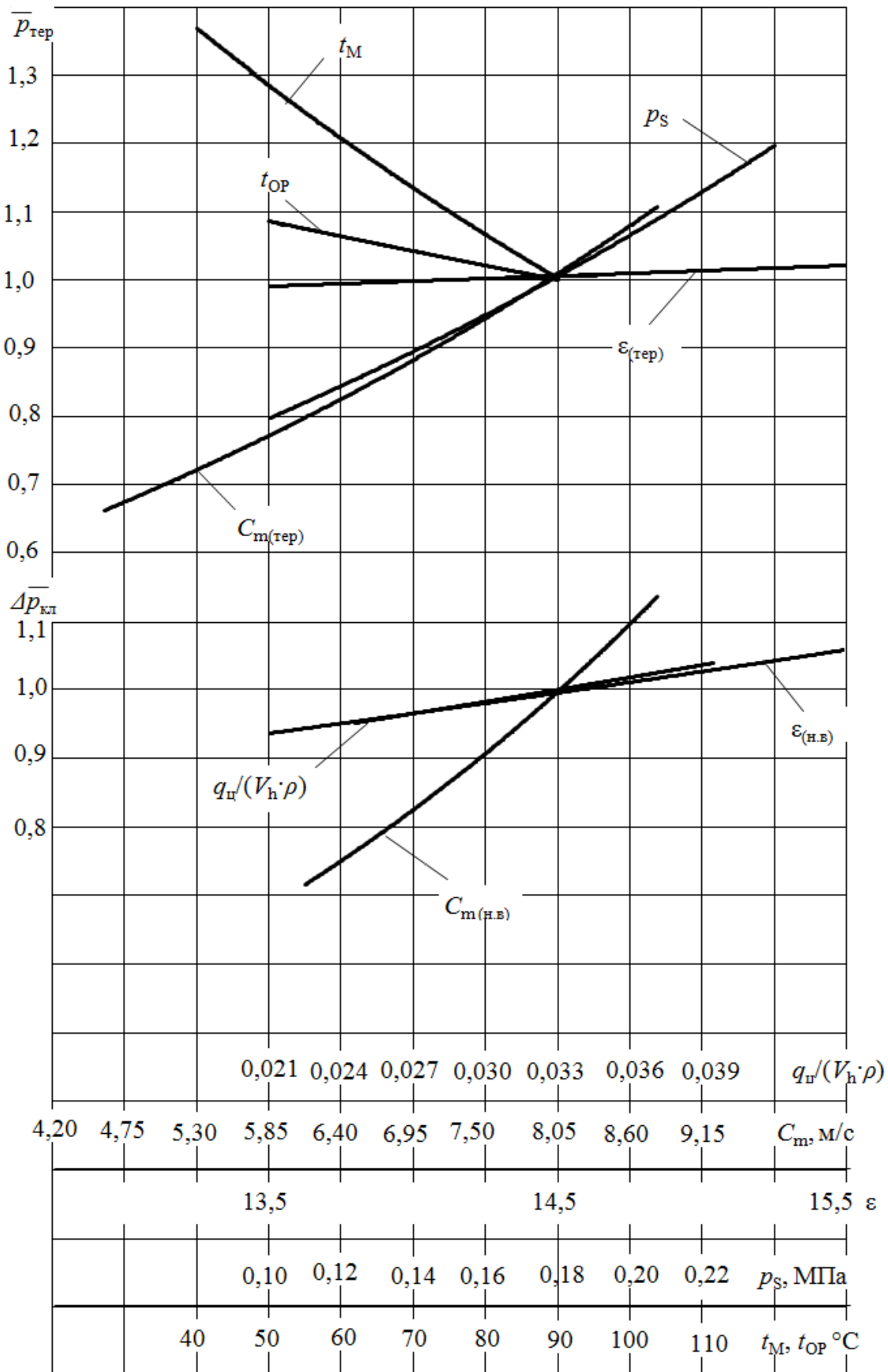


Рис. 1. Зміна відносних втрат на тертя та відносних втрат у клапанах при різних рівнях досліджуваних факторів

Параметри вузлової точки слід вибирати виходячи з режиму роботи двигуна, для якого є можливість достовірно оцінити значення механічних втрат та визначити частку насосних втрат.

Підвищення техніко-економічних показників автотракторного дизеля можливе за рахунок зниження втрат у парі поршень-гільза циліндрів, які є найбільш значущими, а також втрат на привід паливного насоса високого тиску у зв'язку з тенденцією збільшення максимального тиску впорскування палива й зростання циклових подач.

У роботі запропоновано забезпечити зниження втрат на тертя в парі поршень-гільза циліндрів модифікацією поверхні поршня при використанні її гальвано-плазмової обробки (ГПО) з наступними властивостями поверхні: пористість $12 \div 20$ %, мікротвердість $1,8 \div 2,4 \cdot 10^4$ МПа, товщина $0 \div 0,5$ мм. Модифікована поверхня поршня у парі поршень-гільза циліндрів забезпечує коефіцієнт тертя $0,02 \div 0,006$.

Теоретичні дослідження напружено-деформованого стану та умов контактної взаємодії модифікованої поверхні поршня зі стінками циліндра ДВЗ проведені за допомогою комп'ютерного моделювання з використанням універсального розрахункового програмного комплексу ANSYS.

В ході виконання дослідження задача визначення напружено-деформованого стану контактної взаємодії поршня з модифікованою формою бічної поверхні та наявністю шару матеріалу, отриманого в результаті ГПО, була зведена, з використанням підходів теорії варіаційних нерівностей, до проблеми мінімізації квадратичного функціоналу на опуклій множині. Як метод дискретизації був визначений метод скінчених елементів. У найбільш простих модельних задачах проводилися дослідження впливу властивості поверхні на розв'язки спрощених задач.

Розв'язання тестових задач показали значні якісні зміни отриманих картин розподілу контактних зон і тисків, а також напружено-деформованого стану поршня (рис. 2) при урахуванні зміни профілю його бічної поверхні і властивості матеріалу, отриманого в результаті ГПО.

У розділі, на основі аналізу розрахункових та експериментальних методів, також запропонована методика для визначення та прогнозування втрат в залежності від зміни тиску впорскування, кількості штуцерів та частоти обертання валу паливного насосу високого тиску (ПНВТ).

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень з оцінки рівня механічних втрат та резервів підвищення техніко-економічних показників автотракторного дизеля з газотурбінним наддувом.

Вихідні дані для моделювання механічних втрат отримані в результаті досліджень, проведених на експериментальних одноциліндрових дизелях 1ЧН13/11,5 і 1Ч12/14, обладнаних системами для імітації газотурбінного наддуву і укомплектованих деталями та вузлами, що визначають умови протікання робочого процесу розгорнутих дизелів, відповідно 6ЧН13/11,5 і 4ЧН12/14, 6ЧН12/14.

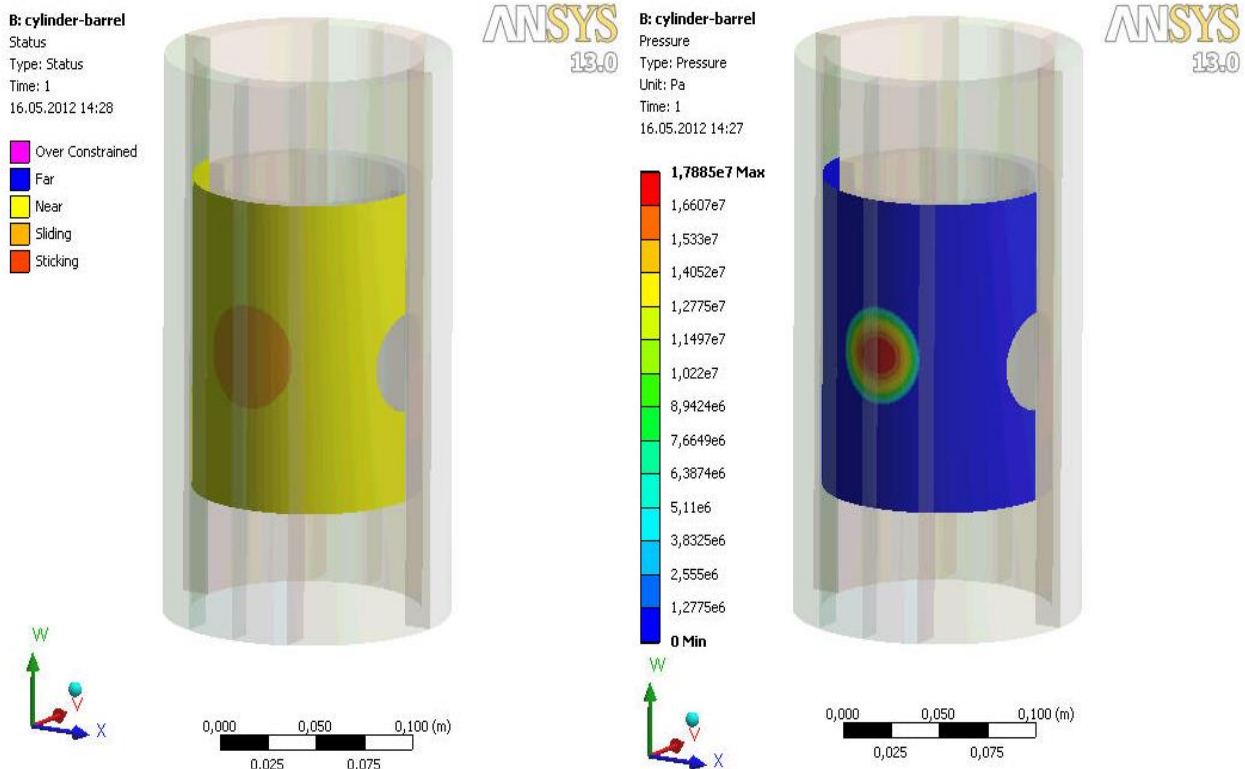


Рис. 2. Розподіл контактних зон і тисків, НДС поршня

При перенесенні даних проведених досліджень на розгорнутий дизель 6ЧН13/11,5 прийняті усереднені, за результатами досліджень значення індикаторного ККД на режимі номінальної потужності 0,47 і режимі максимального крутного моменту 0,46, а також припущення, що індикаторні ККД експериментального одноциліндрового та розгорнутого дизеля рівні. Коефіцієнт збільшення механічних втрат в одноциліндровому дизелі по відношенню до розгорнутого склав $k = p_{\text{м од}} / p_{\text{м рд}} = 1,1$.

Різниця у механічних втратах визначається більш високими, віднесеними до одного циліндру відсіку, значеннями втрат на привід підкачувального паливного насоса, шестерень механізму газорозподілу, привода паливного насоса високого тиску, варіаторів, наявності трьох опор колінчастого валу.

Переваги застосування узагальненої моделі (5) ілюструє графік зміни механічних втрат в дизелі з ГТН 6ЧН13/11,5 в діапазоні робочих режимів при постійних значеннях ε , $t_{\text{м}}$, $t_{\text{ор}}$ (рис. 3).

Поверхня 1 отримана в результаті моделювання за допомогою запропонованої узагальненої моделі (5), а поверхня 2 – за допомогою формули, рекомендованої проф. Дяченко В.Г. для цього типу дизелів

$$p_{\text{м.в}} = a + b \cdot n / n_{\text{ном}}, \quad (6)$$

де $a = 0,06$, $b = 0,15$.

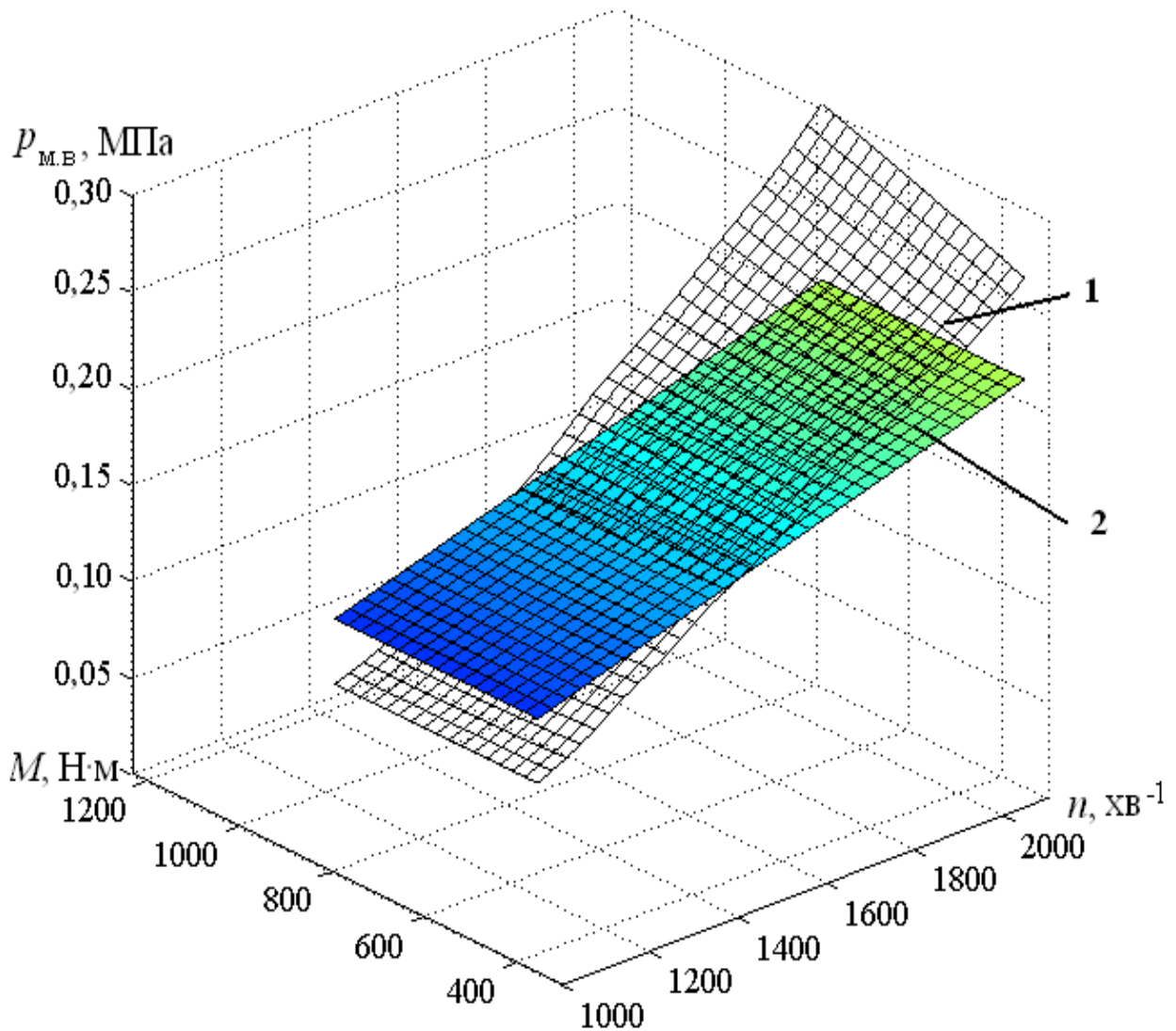


Рис. 3. Зміна механічних втрат в дизелі з ГТН 6ЧН13/11,5 в діапазоні можливих режимів роботи ($\varepsilon = 14,5$, $t_m = 90$ °С, $t_{op} = 90$ °С)

Як видно з графіка, модель (5) враховує вплив навантаження в залежності від частоти обертання колінчастого валу. Формула (6) дозволяє з певною точністю знайти механічні втрати дизеля для частот обертання колінчастого валу $1500 \div 1700$ xB^{-1} і не враховує зміни механічних втрат дизеля з ГТН, пов'язаних зі зміною навантаження.

Відповідно до запропонованої моделі (5) для її застосування на інших двигунах необхідно, як можливо, з високою точністю визначити значення механічних та насосних втрат у вузловій точці і підставити його в розрахункову залежність. З урахуванням цього, а також особливостей зміни впливаючих параметрів за навантажувальними характеристиками в діапазоні частот обертання колінчастого валу $1000 \div 2000$ xB^{-1} визначені механічні втрати для іншого автотракторного дизеля з ГТН – 6ЧН12/14 (рис. 4).

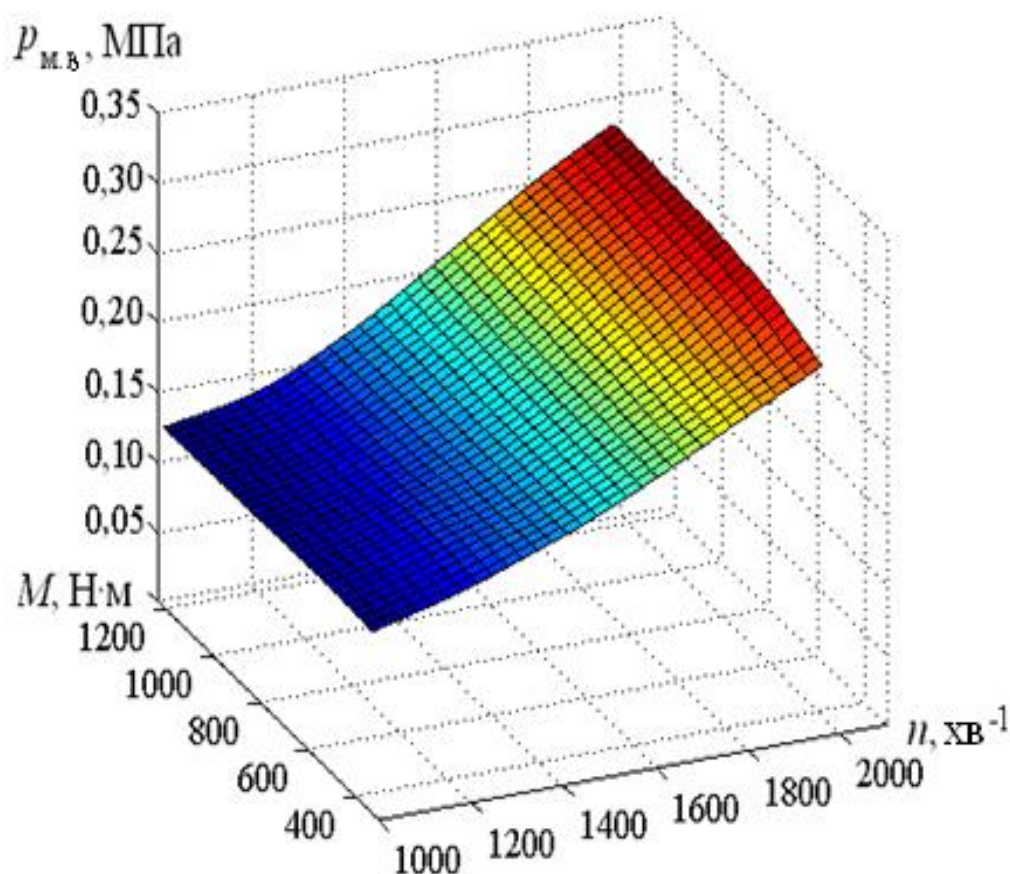


Рис. 4 Зміна механічних втрат у автотракторному дизелі з ГТН 6ЧН12/14

Результати моделювання механічних втрат дають можливість визначати значення індикаторних показників на всіх можливих режимах роботи без індиціювання дизеля за ефективними показниками, визначеними в результаті стендових випробувань. На рис. 5 наведені результати визначення індикаторного ККД дизеля 6ЧН12/14 в діапазоні робочих режимів.

Крім аналізу досконалості робочого процесу в широкому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів багатofакторне моделювання може бути застосоване при діагностуванні, коли алгоритм діагностування заснований на моніторингу основних показників дизелів, та при розробці алгоритму електронного управління подачею палива в дизелі з урахуванням ступеня його прогріву (температур охолоджуючої рідини і мастила).

Для оцінки резервів підвищення техніко-економічних показників зниженням механічних втрат в парі поршень-гільза циліндрів виконанні дослідження автотракторного дизеля 4ЧН12/14 з газотурбінним наддувом, що проводилися на кафедрі ДВЗ НТУ «ХП» з поршнями, які мали бічну поверхню поршня, модифіковану ГПО.

Порівняння показників роботи дизеля з поршнями, що мають модифіковану поверхню, з серійним варіантом, вказує на те, що на режимах максимальних і середніх навантажень для досліджуваних частот обертання колінчастого валу зниження питомої ефективної витрати палива складає $2,2 \div 3,6$ г/(кВт·год) ($1 \div 1,5$ %) і на режимах малих навантажень $10 \div 15$ г/(кВт·год) ($4 \div 6$ %).

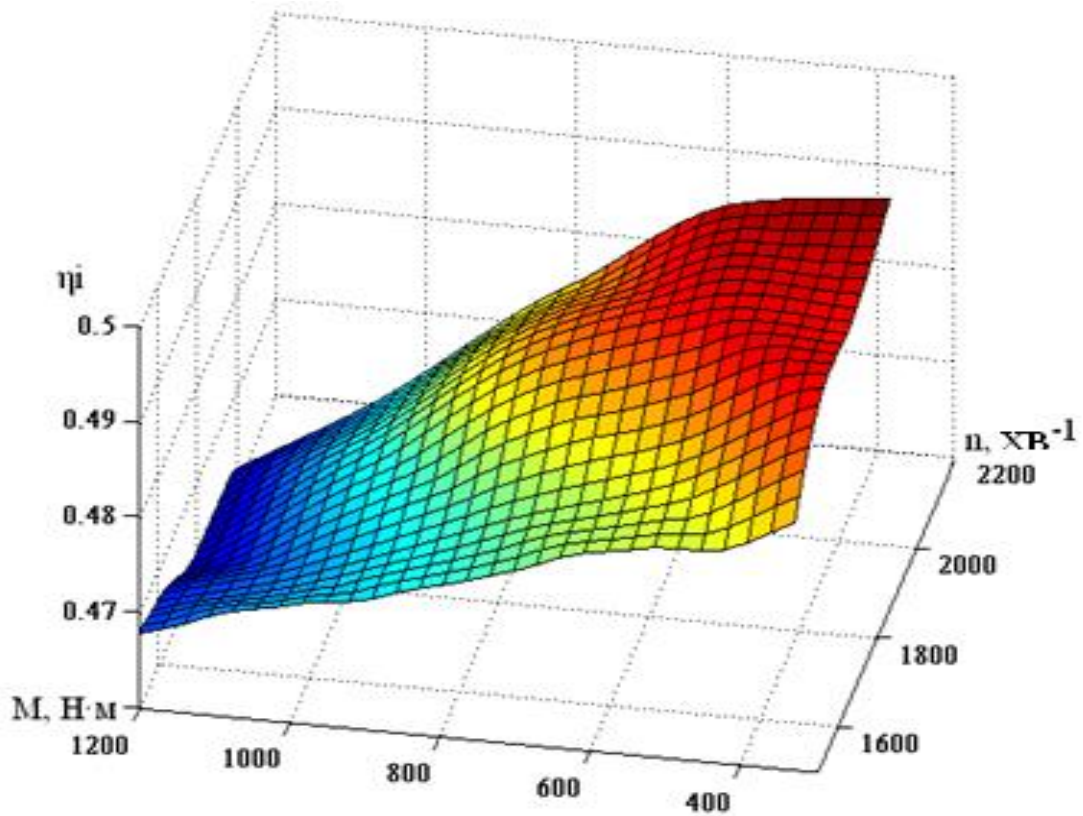


Рис. 5. Зміна індикаторного ККД дизеля 6ЧН12/14 в діапазоні робочих режимів

Позитивний вплив модифікованої бічної поверхні поршня також було підтверджено і при випробуваннях дизеля серії 1ДТА, що проводилися спільно з КП ХКБД. Для дизелів серії ДТА зниження питомої ефективної витрати палива на режимах максимальних і середніх навантажень складає $4 \div 6$ г/(кВт·год) (1,5 ÷ 2 %) і на режимах малих навантажень – $10 \div 15$ г/(кВт·год) (3 ÷ 5 %).

Залежності питомої ефективної витрати палива дизелів 4ЧН12/14 від середнього ефективного тиску при $n = 2000$ хв⁻¹ і 1ДТА $n = 3000$ хв⁻¹ представлені на рис. 6.

Частина механічних втрат в дизелі витрачається на привід його агрегатів і механізмів. Значною складовою при цьому є втрати потужності на привід ПНВТ. Особливо це проявляється при використанні сучасних акумуляторних систем паливоподачі з високими значеннями тиску впорскування (до 200 МПа), в яких ПНВТ призначений для нагнітання палива в акумулятор.

У роботі запропонована методика не пов'язана з визначенням швидкості та прискоренням плунжера, урахуванням жорсткості та попередньої зтяжки зворотної пружини, а потужність на валу насоса визначається з середнього тиску у над плунжерній порожнині та теоретичної продуктивності ПНВТ.

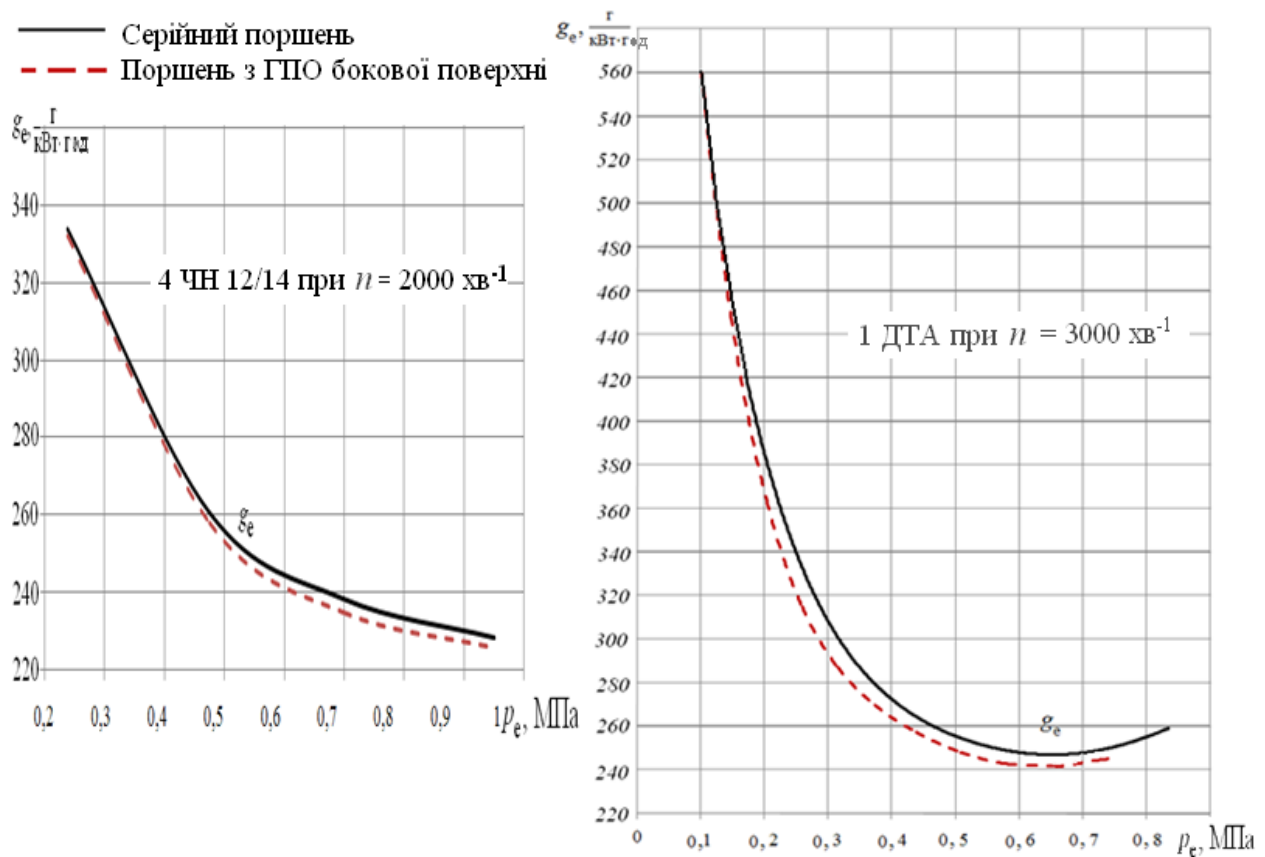


Рис. 6. Характеристики питомої ефективної витрати палива дизелів 4ЧН12/14 при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ і 1ДТА при $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$

На прикладі автотракторного дизеля 6ЧН12/14 виконано аналіз втрат потужності, необхідної для приводу насоса акумуляторної паливної апаратури в залежності від заданого тиску впорскування. Розрахунки показали, що ці втрати зростають практично пропорційно збільшенню тиску в акумуляторі до значень 200 МПа, і можуть досягати 15 % від сумарних механічних втрат дизеля.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі поставлено і вирішено науково-технічне завдання з оцінки механічних втрат в автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом. Рішення даної задачі дозволило одержати наступні наукові і практичні результати:

1. Узагальнено та систематизовано дані про рівень показників, структуру, методи визначення, теоретичні положення з оцінки втрат на тертя, газодинамічних втрат і втрат на привід допоміжних агрегатів в автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом.

2. Обґрунтовано метод експериментального визначення і розрахункового моделювання механічних втрат, а також доцільність подання у відносному вигляді аналітичних залежностей механічних втрат від впливаючих параметрів в діапазоні робочих режимів дизеля.

3. Проведені експериментальні дослідження на одноциліндрових і розгорнутих автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом, які дозволили одержати залежності втрат на тертя, газодинамічних втрат і сумарних втрат від режимних і конструктивних параметрів ($C_m, t_m, t_{op}, p_s, p_T, t_s, \varepsilon, \Delta p_{кл}$).

4. Розроблено математичну модель на основі методу «вузлових точок», яка дозволяє у відносному вигляді оцінити вплив конструктивних і режимних параметрів на механі-

чні втрати автотракторного дизеля з газотурбінним наддувом у широкому діапазоні частот обертання колінчастого валу і навантажень. Для переходу від відносної оцінки механічних втрат до абсолютної необхідно визначити механічні втрати лише в одній точці (вузловий).

5. Результати розрахункових досліджень свідчать про якісну зміну контактних зон і тисків, а також НДС поршня з модифікованою бічною поверхнею, і дозволяють прогнозувати зниження коефіцієнта тертя при взаємодії поршня з гільзою циліндра.

6. Проведені експериментальні дослідження підтвердили ефективність модифікації бічної поверхні поршня з метою отримання пористості. За рахунок зниження втрат на тертя в парі поршень - гільза циліндрів забезпечується підвищення паливної економічності дизеля 4ЧН12/14 на $2,2 \div 3,6$ г/(кВт·год) і дизеля 1ДТА на $4 \div 6$ г/(кВт·год), на окремих режимах понад 10 г/(кВт·год).

7. В результаті моделювання втрат на привід паливного насоса високого тиску встановлено, що при інтенсифікації паливоподачі збільшенням тиску впорскування до значень 200 МПа сумарні механічні втрати в дизелі можуть зрости на 15 %.

8. Результати наукового дослідження впроваджені та використовуються у КП "ХКБД" (м. Харків), проблемній науково - дослідній лабораторії кафедри двигунів внутрішнього згоряння НТУ "ХПІ", а також у навчальний процес при підготовці студентів за напрямом 6.050503 – «Машинобудування» та спеціальності 7.05050304, 8.05050304 – «Двигуни внутрішнього згоряння».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Белик С.Ю. Особенности определения потерь на трение в быстроходном дизеле методом прокручивания коленчатого вала / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. Харків : НТУ «ХПІ». – 2004. - № 24.- С. 69 - 74. *Здобувачем виконано обробку експериментальних даних результатів дослідження втрат на тертя у швидкохідному дизелі методом прокручування колінчатого валу.*

2. Белик С.Ю. Многофакторный анализ потерь на трение в быстроходном дизеле с газотурбинным наддувом / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик // Двигатели внутреннего сгорания. – 2005. - № 1.- С. 106 – 110. *Здобувачем виконана підготовка вихідних даних для моделювання й обробка результатів досліджень з визначення втрат на тертя у швидкохідному дизелі.*

3. Белик С.Ю. Оценка насосных потерь в автотракторном дизеле с газотурбинным наддувом / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. Харків : НТУ «ХПІ». – 2007. - № 33.- С. 136 - 139. *Здобувачем виконана підготовка вихідних даних для моделювання й обробка результатів досліджень визначення насосних втрат у автотракторному дизелі.*

4. Белик С.Ю. Многофакторный анализ механических потерь в быстроходном дизеле с газотурбинным наддувом / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. - № 1.- С. 34 – 37. *Здобувачем проведено розрахункове дослідження, виконані обробка та аналіз отриманих результатів щодо механічних втрат у швидкохідному дизелі з газотурбінним наддувом.*

5. Белик С.Ю. Метод оценки индикаторных показателей двигателей внутреннего сгорания / Е.Н. Сериков, С.Ю. Белик, В.Г. Дьяченко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. - № 1.- С. 19 – 24. *Здобувачем виконано аналіз результатів експериментальних досліджень індикаторних показників двигунів внутрішнього згоряння.*

6. Белик С.Ю. Результаты моделирования механических потерь в дизеле с газотурбинным наддувом / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. - № 2.- С. 20 – 23. *Здобувачем виконано обробку результатів експериментальних до-*

сліджень й проведене розрахункове дослідження механічних втрат у дизелі з газотурбінним наддувом.

7. Белик С.Ю. Методы определения потерь на привод топливного насоса высокого давления автотракторного дизеля / С.Ю. Белик, М.В. Кривко, И.В. Рыкова // Гідравліка і гідротехніка. – 2010. – Вип. 64. – С. 12 – 17. *Здобувачем виконано аналіз методів та рівень втрат на привід ПНВТ й проведене розрахункове дослідження.*

8. Белик С.Ю. Энергетические потери на привод топливного насоса высокого давления автотракторного дизеля / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик, М.В. Кривко, И.В. Рыкова // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. - № 1.- С. 62 – 65. *Здобувачем виконано обробку результатів експериментальних досліджень й проведене розрахункове дослідження енергетичних втрат на привід ПНВТ.*

9. Белик С.Ю. Влияние гальваноплазменной обработки поверхности поршня на механические потери в автотракторном дизеле / И.В. Парсаданов, В.В. Шпаковский, И.Н. Карягин, С.Ю. Белик // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. Харків : НТУ «ХПІ». – 2010. - № 38.- С. 88 - 91. *Здобувачем виконана обробка експериментальних даних результатів досліджень з впливу гальваноплазменої обробки поверхні поршня на механічні втрати у автотракторних дизелях.*

10. Белик С.Ю. Контактное взаимодействие поршня с гальваноплазменной обработкой боковой поверхности со стенками цилиндра ДВС / О.В. Веретельник, Н.А. Ткачук, С.Ю. Белик // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. Харків : НТУ «ХПІ». – 2012. - № 22.- С. 32 - 39. *Здобувачем виконано постановку задачі, проведено аналіз результатів моделювання контактної взаємодії поршня з стінками циліндру.*

11. Белик С.Ю. Аналіз зміни механічних втрат у діапазоні робочих режимів дизелів з газотурбінним наддувом / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : XVII міжнар. науково-практич. конф., 20-22 травня 2009 р. : тези доп. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009.– С. 151. *Здобувачем виконана обробка експериментальних даних та виконано аналіз зміни механічних втрат у діапазоні робочих режимів.*

12. Белик С.Ю. Влияние механических потерь на эффективные показатели автотракторных дизелей с газотурбинным наддувом / И.В. Парсаданов, С.Ю. Белик // «Сучасні проблеми двигунобудування: стан ідеї рішення»: четверта всеукр. науково-техн. конф., 19-20 квітня 2011 р. : тези доп. – Первомайськ, – 2011. – С. 99 –101. *Здобувачем виконана обробка експериментальних даних результатів досліджень впливу механічних втрат на ефективні показники автотракторних дизелів з газотурбінним наддувом.*

АНОТАЦІЇ

Білик С.Ю. Оцінка механічних втрат в автотракторних дизелях з газотурбінним наддувом. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки. - Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». - Харків, 2012.

Дисертація присвячена питанням розробки методики, що дозволяє у відносному вигляді оцінити вплив комплексу режимних і конструктивних параметрів на механічні втрати автотракторного дизеля з газотурбінним наддувом в широкому діапазоні частот обертання колінчастого валу і навантажень.

Відповідно до структури складових механічних втрат автотракторних дизелів з газотурбінним наддувом проведено аналіз рівня втрат, що виникають при роботі сучасних ДВЗ.

На основі проведеного аналізу розрахункових і експериментальних методів визначення механічних втрат запропоновано комплексний метод для визначення втрат в ДВЗ.

Розроблено методику та проведено експериментальні дослідження на експериментальних одноциліндрових установках 1ЧН13/11,5 і 1Ч12/14, конструктивні і регулювальні параметри яких повністю відповідали дизелям 6ЧН13/11,5 і 4ЧН12/14, з метою визначення впливу режимних і регулювальних параметрів дизеля з газотурбінним наддувом на механічні втрати.

Запропоновано узагальнену модель для оцінки впливу режимних і конструктивних параметрів на механічні втрати в швидкохідних дизелях з газотурбінним наддувом, яка дає можливість визначати значення індикаторних та ефективних показників без індиціювання двигуна за параметрами, визначеними в результаті його випробувань.

Виконано розрахункові дослідження, що свідчать про якісну зміну контактних зон і тисків, а також НДС поршня, і дозволяють прогнозувати зниження коефіцієнта тертя при взаємодії поршня з гільзою циліндра.

Виконано аналіз енергетичних втрат на привід ПНВТ при інтенсифікації паливоподачі та встановлено, що втрати на привід ПНВТ зростають пропорційно максимальному тиску впорскування. Втрати на привід паливного насоса при інтенсифікації паливоподачі можуть досягати 15 % від сумарних механічних втрат двигуна.

Ключові слова: автотракторний дизель, газотурбінний наддув, паливний насос високого тиску, механічні втрати, експериментальні дослідження, модифікована поверхня поршня.

Белик С.Ю. Оценка механических потерь автотракторных дизелей с газотурбинным наддувом. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – двигатели и энергетические установки. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт». – Харьков, 2012.

Диссертация посвящена вопросам разработки методики, позволяющей в относительном виде оценить влияние комплекса режимных и конструктивных параметров на механические потери автотракторного дизеля с газотурбинным наддувом в широком диапазоне частот вращения коленчатого вала и нагрузок, по параметрам, определенным в ходе стендовых испытаний.

В работе, в соответствии со структурой составляющих механических потерь автотракторных дизелей с газотурбинным наддувом, проведен анализ уровня данных потерь, возникающих при работе современных ДВС.

На основе проведенного анализа расчетных и экспериментальных методов предложен комплексный метод для определения потерь в ДВС.

В результате анализа методов моделирования механических потерь в двигателе предложен метод узловых точек для исследования сложных процессов с большим количеством влияющих параметров, в которых отсутствует их физическое взаимодействие или их взаимное влияние незначительно.

Разработана методика и проведены экспериментальные исследования на экспериментальных одноцилиндровых установках 1ЧН13/11,5 и 1Ч12/14, конструктивные и регулировочные параметры которых полностью соответствовали дизелям 6ЧН13/11,5 и 4ЧН12/14, с целью определения влияния режимных и регулировочных параметров дизеля с газотурбинным наддувом на механические потери.

Предложена обобщенная модель для оценки влияния режимных и конструктивных параметров на механические потери в быстроходных дизелях с газотурбинным наддувом, которая дает возможность определять значения индикаторных и эффективных показателей

без индцирования двигателя, по параметрам, определенным в результате испытаний двигателя.

Представлена общая постановка и математическая модель НДС с учетом контактного взаимодействия поршня с модифицированной формой боковой поверхности и наличием слоя материала, полученного в результате ГПО. Результаты расчетных исследований свидетельствуют о качественных изменениях контактных зон и давлений, а также НДС поршня, и позволяют прогнозировать снижение коэффициента трения при взаимодействии поршня с гильзой цилиндра.

Выполнен анализ энергетических потерь на привод ТНВД при интенсификации топливоподачи, в ходе которого установлено, что потери на привод ТНВД возрастают пропорционально максимальному давлению впрыскивания. Потери на привод топливного насоса при интенсификации топливоподачи могут достигать 15 % от суммарных механических потерь двигателя.

Ключевые слова: автотракторный дизель, газотурбинный наддув, топливный насос высокого давления, механические потери, экспериментальное исследование, модифицированная поверхность поршня.

Belik S.Y. Evaluation of mechanical losses in turbocharged auto-tractor diesel engines. – On the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.05.03 - engines and power plants. - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". - Kharkiv, 2013.

The thesis is devoted to the development of methodology to assess the relative impact of a set of operational and design parameters on the mechanical losses of auto-tractor turbo diesel with a wide range of engine speeds and loads using parameters defined in the bench tests.

In this paper, in accordance with the structure of the components of the mechanical losses of auto-tractor turbocharged diesel engines, the analysis was held for modern internal combustion engines.

After studying the methods for modeling the mechanical losses in the engine the method of nodal points for studding of complex processes with many influencing factors was offered. In nodal points there is no physical interaction of factors or their relative impact is negligible.

New methods was developed and experimental studies on the experimental single-cylinder units 1ЧН13/11,5 and 1Ч12/14 took place. The design and tuning options were fully consistent with diesels 6ЧН13/11,5 and 4ЧН12/14, in order to determine impact of operational and control parameters of diesel engine with turbocharger on the mechanical losses.

A generalized model for assessing the impact of operational and design parameters on the mechanical losses in high-speed turbocharged diesel engines, which makes it possible to determine the value of the indicator and effective performance without the indexing engine according to the parameters identified during engine tests was offered.

A general statements and the mathematical model of the mode of deformation is presented. Statements and model are taking into account the contact interaction between piston and piston's modified side surface and the presence of a layer of material derived from the galvanic-plasma processing. The results of computational research evidence of the qualitative change in the contact areas and pressures, as well as the piston mode of deformation, and allow predicting friction coefficient in the interaction of the piston cylinder liner. The analysis of the energy loss on the drive with the intensification of fuel injection pump was made. It was found that the loss to the drive pump increases in proportion to the maximum injection pressure during analysis. Losses on the fuel pump drive with intensified fuel can reach 15 % of total engine mechanical losses.

Keywords: auto-tractor diesel engines, gas turbine boost, high pressure fuel delivery pump, mechanical losses, an experimental study, modified surface of piston.

Відповідальний за випуск к.т.н. Самойленко Д.Є.

Підписано до друку 19.04.2013 р. Формат видання 145x215.
Формат бумаги 60x90/16. Папір – офсетний. Печать – ризографія.
Об'єм 1,9 авт. арк.. Зам. № 15. Тираж 100 прим.

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВОН№022953)
м. Харків, вул. Червонопрапорна, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354
www.modelist.in.ua