

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Сукачов Іван Іванович

УДК 621.436:662.756.3

ПОЛІПШЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ФОРСОВАНИХ  
ДИЗЕЛІВ ШЛЯХОМ УЗГОДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ВПРИСКУВАННЯ ПАЛИВА ТА ФОРМИ КАМЕРИ ЗГОРЯННЯ

Спеціальність 05.05.03 – теплові двигуни

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2005

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

**Марченко Андрій Петрович**, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», проректор з наукової роботи, завідувач кафедри двигунів внутрішнього згорання.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

**Єрощенков Станіслав Аркадійович**, Українська державна академія залізничного транспорту, Міністерство транспорту України, завідувач кафедри теплотехніки та теплових двигунів, м. Харків

кандидат технічних наук

**Тимченко Ігор Іванович**, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Міністерство освіти і науки України, професор кафедри двигунів внутрішнього згорання, м. Харків.

Провідна установа: Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, кафедра двигунів внутрішнього згорання, м. Луганськ.

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2006 р. в 13 годині на засіданні спеціалізованої ученої ради Д64.050.13 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2006 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ученої ради

Парсаданов І.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В світовому і вітчизняному дизелебудуванні широко використовується практика підвищення питомої потужності дизелів шляхом їх форсування по середньому ефективному тиску  $p_{me}$ . Експериментально встановлені специфіка і особливості сумішоутворення і згоряння у форсованих дизелях. Виявлено, що основні причини зниження швидкостей випаровування і вигорання збільшених циклових порцій палива пов'язані з неоптимальним просторово-часовим розподілом палива в стиснених умовах камери згоряння (КЗ), особливо на часткових режимах роботи. Все це значно погіршує умови забезпечення якісного сумішоутворення і згоряння у форсованих дизелях. Вирішення цієї задачі в значній мірі пов'язано з більш досконалим погодженням характеристик вприскування палива та форми КЗ. Експериментальний пошук оптимально узгоджених значень великої сукупності впливаючих чинників є вельми складний, довготривалий і вимагає значних матеріальних витрат. Тому, в даний час все більше уваги приділяється розробці математичних моделей сумішоутворення і згоряння в дизелях, які дозволяють виконувати розрахункову оптимізацію.

Розробці відповідних математичних моделей присвячені роботи багатьох вчених. Проте, не дивлячись на істотні успіхи, математичні моделі формування і розвитку паливного струменя (ПС), його взаємодії із стінками КЗ дизеля, розподілу палива в характерних зонах струменя і КЗ, випаровування і горіння палива в цих зонах мають багато припущень і значну невідповідність фізичним процесам. Тому, уточнення математичних моделей сумішоутворення і згоряння, розробка методики розрахункового узгодження конструктивно-регульовальних параметрів паливної апаратури (ПА) і форми КЗ, є актуальною проблемою, що дозволяє знизити експлуатаційну витрату палива.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження виконано на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння НТУ "ХП" в рамках НДР по вдосконаленню робочих процесів форсованих дизелів типу ЧН25/34, ЧН26/34, ЧН25/27 та ЧН32/32, працюючих на традиційному паливі, а також держбюджетних НДР МОН України: «Фізико-хімічні дослідження щодо використання альтернативних палив та альтернативних матеріалів в перспективних вітчизняних двигунах внутрішнього згоряння для автотракторних засобів» (ДР №0100U001654), 2000-2002р.р.; «Фундаментальні дослідження робочих процесів та токсичності перспективних автотракторних двигунів при їх конвертації на альтернативні палива» (ДК № 0103U001500), 2003-2005р.р.

**Мета і задачі дослідження.** Мета дисертаційної роботи полягає в зниженні експлуатаційної витрати палива у форсованих дизелях шляхом узгодження характеристик вприскування палива і форми КЗ.

Для досягнення поставленої мети вирішені наступні основні задачі:

1. Аналіз і систематизація досліджень процесів сумішоутворення і згоряння палива у форсованих дизелях, вибір характеристик вприскування палива і елементів неподіленої КЗ, що визначають просторово-часовий розподіл палива в об'ємі КЗ.

2. Уточнення базових і розробка нових математичних моделей для розрахунку характеристик сумішоутворення і згоряння у форсованих дизелях.

3. Розробка і ідентифікація комплексу програмного забезпечення для розрахунку робочого процесу дизеля, в тому числі: характеристик вприскування палива, розподілу палива в струмені та КЗ і характеристик сумішоутворення та згоряння.

4. Розробка методики і виконання розрахунково-експериментальних досліджень для оптимального погодження характеристик вприскування палива та форми КЗ у форсованих дизелях.

5. Вибір та обґрунтування параметрів ПА, характеристик вприскування палива і форми КЗ, що забезпечують поліпшення паливної економічності в форсованих дизелях.

*Об'єкт дослідження* – процеси сумішоутворення і згоряння форсованих дизелів.

*Предмет дослідження* - мікро- і макророзподіл палива, його випаровування та згоряння з урахуванням характеристик паливоподачі і форми камери згоряння.

*Методи дослідження* - математичне і фізичне моделювання робочих процесів у дизелях при використанні математичного планування досліджень.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Розроблено комплекс розрахункових методик, що розкривають зв'язки характеристик вприскування палива та форми КЗ з характеристиками тепловиділення у форсованих дизелях, який складається з методики розрахунку руху і розподілу розпорошеного палива у вільному ПС і при його взаємодії із стінками КЗ, методики розрахункової профілізації вогняної поверхні неподілених КЗ і вибору раціональних параметрів ПА по критерію вирівнювання повітряно-паливного відношення в радіальному напрямі, методику розрахунку випаровування і згоряння палива з використанням кінетичних рівнянь М.Ф.Разлейцева і з урахуванням випаровування: у оболонці струменя, в передньому фронті струменя, у стінок поршня, у кришки циліндра, у гільзи циліндра і в зонах зімкнення сусідніх потоків палива біля периферійних стінок КЗ.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати розрахунково-експериментальних досліджень та рекомендації по реалізації резервів підвищення паливної економічності форсованих дизелів типу ЧН25/27, ЧН25/34, ЧН26/34, ЧН32/32 передані відповідним галузевим підприємствам. Результати дослідження та програмний комплекс, що дозволяє розраховувати характеристики сумішоутворення і згоряння палива, індикаторну діаграму циклу дизеля та виконувати комп'ютерну оптимізацію конструктивно-регулюючих параметрів робочого процесу дизелів використовуються в НДР кафедри двигунів внутрішнього згоряння НТУ «ХП».

**Особистий внесок здобувача.** При виконанні дисертаційної роботи здобувачем особисто:

1. Виконано аналіз наявних експериментальних і теоретичних даних, на підставі якого запропоновані загальні принципи і методика узгодження

характеристик вприскування палива та форми КЗ для форсованих дизелів.

2. Розроблено методики розрахунку руху і розподілу розпорошеного палива у вільному ПС, при його взаємодії із стінками КЗ та методику розрахункової профілізації вогняної поверхні неподілених КЗ і вибору раціональних параметрів ПА по критерію вирівнювання повітряно-паливного відношення уздовж радіуса циліндра.

3. Уточнено базові методики розрахунку випаровування і згоряння палива по кінетичних рівняннях з урахуванням характерних для випаровування та згоряння зон ПС та КЗ.

4. Розроблено та реалізовано комплекс програмного забезпечення для розрахунку робочого процесу дизелів і погодження характеристик вприскування палива та форми КЗ. Виконано ідентифікацію математичних моделей шляхом уточнення емпіричних залежностей для коефіцієнтів пропорційності розрахункових формул.

5. Виконано розрахунково-експериментальні дослідження та рекомендовані раціональні параметри сумішоутворення і згоряння для досліджених в роботі форсованих дизелів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати роботи доповідались на Конгресах двигунобудівників України (м. Рибаче, Крим, Україна, 1996 р., 2002 р., 2004 р., 2005 р.), на Всеросійському конгресі двигунобудівників (м. Санкт-Петербург, 2003 р.), на міжнародних щорічних НТК „Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”, (м. Харків, 1996 р., 1997 р.), на всесоюзних НТК, та міжгалузевих семінарах: м. Харків, 1979 р., 1997р.; м. Москва, 1980 р., 1987р.; м. Ленінград, 1986 р.; м. Санкт-Петербург, 1990 р.; м. Ворошиловград, 1983 р.

**Публікації.** Результати дисертаційної роботи опубліковані в 10 роботах, серед яких: 1 монографія (у співавторстві), 3 - у фахових виданнях ВАК України, 1 - у збірнику наукових праць міжнародної конференції.

**Обсяг і структура дисертації.** Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, 3 додатків. Повний обсяг дисертації складає 233 сторінки. З них 48 ілюстрацій по тексту, 13 ілюстрацій на 12 сторінках, 2 таблиці по тексту, 3 таблиці на 2 сторінках, 143 найменувань використаних літературних джерел на 14 сторінках, 3 додатка на 20 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ**

**У вступі** обґрунтовується актуальність розглянутої теми дисертації, сформульована мета дослідження, основні задачі та шляхи їх вирішення.

**Перший розділ присвячений** аналізу особливостей сумішоутворення і згоряння палива у форсованих дизелях, викладених в роботах Д.М.Вирубова, В.В.Гаврилова, Н.І.Демидової, Н.В.Іноземцева, С.А.Калужина, Г.М.Камфера, А.В.Касьянова, О.Н.Лебедева, В.Н.Прошкіна, М.Ф.Разлейцева, Ю.Б.Свирідова, М.М.Семенова та інших вчених. Огляд першоджерел показав, що поліпшення паливної економічності форсованих дизелів пов'язане з управлінням теплови-

ділення шляхом узгодження характеристик вприскування палива та форми неподіленої КЗ.

Для форсованих дизелів можуть бути ефективні два конструктивні рішення що до форми КЗ, які принципово відрізняються, відносно форми і розмірів периферійної поверхні. Перше рішення дозволяє одержати раціональний розподіл палива в повітряному заряді КЗ при відносно інтенсивному його завихренні і обмеженні затікання палива в надпоршневий зазор. При реалізації другого рішення оптимальне повітряно-паливне відношення уздовж радіусу циліндра забезпечується переважно шляхом узгодження форми КЗ з характеристиками розвитку і розподілу ПС за умов збільшеного для цього зазору над поршнем.

Вплив структурних складових вприскування палива, що забезпечують ефективне сумішоутворення, перш за все пов'язаний з узгодженням тривалості та фаз вприскування, дрібності розпилювання, структури, геометрії і динаміки розвитку ПС з рухом повітряного заряду і периферійною стінкою КЗ. Забезпечення своєчасного випаровування і повного вигорання пари палива вимагає, зокрема, створення в локальних зонах горіння оптимальних повітряно-паливних відносин.

**Другий розділ** присвячений математичному моделюванню процесів сумішоутворення і згорання у форсованих дизелях. За базову для вдосконалення прийнята модель М.Ф.Разлейцева. Дана феноменологічна модель сумішоутворення і згорання палива, заснована на сучасних уявленнях про процеси вприскування і розпилювання палива на елементарні порції крапель палива (ЕПКП), формування і розвитку ПС, випаровування і згорання в стиснених умовах КЗ.

Математична модель включає характеристики вприскування палива та форми КЗ, які лімітують ефективність випаровування та спалювання палива.

Характеристики паливоподачі, розпилювання палива та динаміка і геометрія ПС визначаються по відомим узагальненим емпіричним залежностям О.С.Лишевського. В роботі прийнято, що ЕПКП проходять три стадії розвитку: рух з різким гальмуванням на початковій ділянці розвитку до осьового ядра, рух в ущільненому осьовому кумулятивному потоці ядра струменя з незначним гальмуванням до внутрішньої межі ПФ струменя і - різке гальмування в ньому (див. рис.1а, б).

Для розрахунку поточної швидкості та часу руху ЕПКП, відповідно стадіям їх розвитку, в роботі запропоновані наступні емпіричні залежності:

$$U_{zp} = U_o(1-l/l_{ma})^2; \tau_{zp} = (3 \cdot l_{ma}/U_o) \cdot (l_{zp}/l_{ma})^2 / (1 - (l_{zp}/l_{ma})^3); \quad (1)$$

$$U_{я} = B \cdot U_o(1-l/l_{ma})^{0,25}; \tau_{я} = l_{ma} / (0,75 \cdot B \cdot U_o) \cdot ((1-l_{zp}/l_{ma})^{0,75} - (1-l_{\phi}/l_{ma})^{0,75}); \quad (2)$$

$$U_{\phi} = U_o(1 - (l - l_{\phi}) / (l_m - l_{\phi}))^2; \tau_{\phi} = 1,5 \cdot (l_m - l_{\phi}) / U_{\phi}; \quad (3)$$

$$\tau_m = \tau_{zp} + \tau_{я} + \tau_{\phi}, \quad (4)$$

де:  $l$  - відстань до контрольного перетину ПС;  $l_m, \tau_m$  - поточні довжина та час розвитку струменя;  $l_{ma}$  - максимальна довжина струменя у момент закінчення розвитку ПС;  $l_\phi$  - відстань до внутрішньої межі ПФ (прийнято, що:  $l_\phi = l_m - 0,7 \cdot r_H$ , де  $r_H$  - зовнішній радіус поперечного перетину струменя на відстані  $l_m$ );  $B = (1 - l_{zp}/l_{ma})^{1,75}$  - коефіцієнт зниження швидкості ЕПКП на початковій ділянці;  $U_\phi = B \cdot U_o \cdot (1 - l_\phi/l_{ma})^{0,25}$  - швидкість підльоту ЕПКП до ПФ струменя.

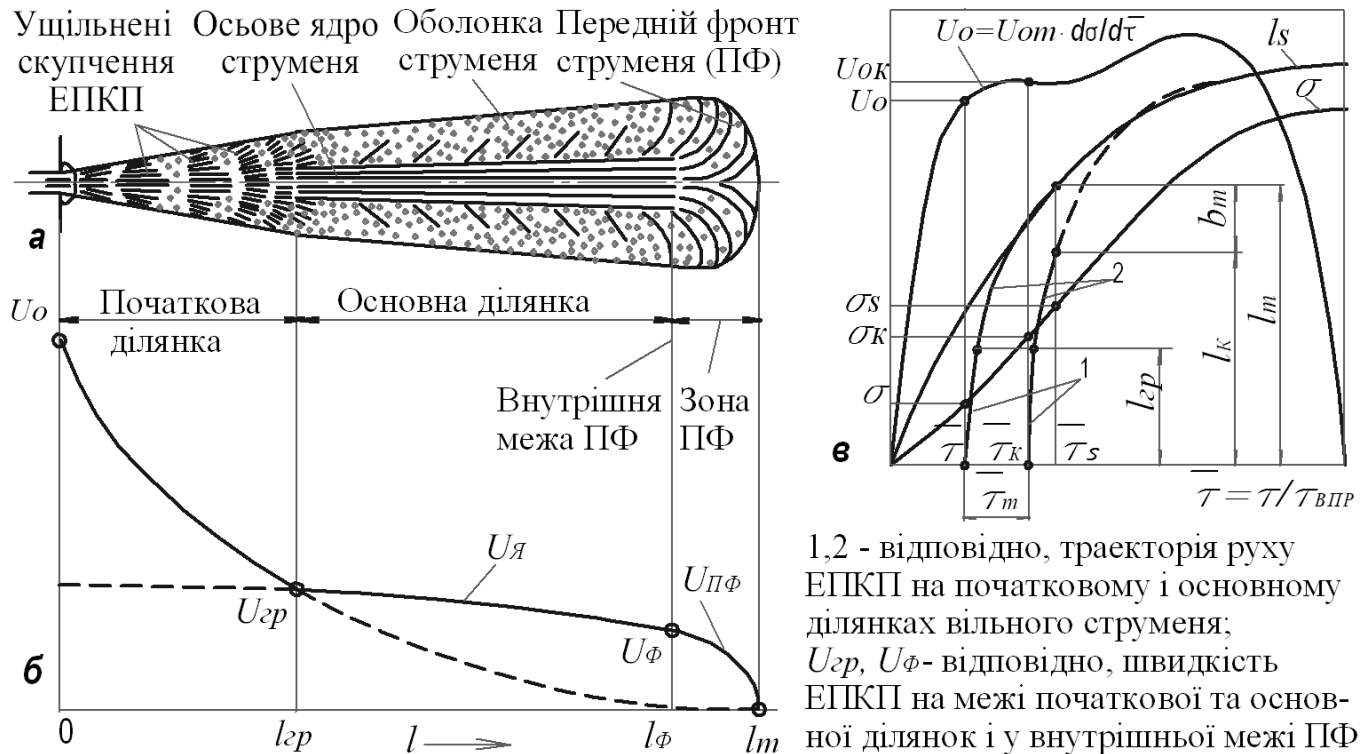


Рис. 1. Схеми до розрахунку розвитку вільного паливного струменя

На рис.1в приведена схема до розрахунку руху і розподілу ЕПКП по довжині вільного ПС. З рис. 2а видно, що розрахункова характеристика руху ЕПКП, поданої в момент  $\tau = 1,95$ мс співпадає з експериментальною як на початковій, так і основній стадіях розвитку ПС.

Характеристика розподілу ЕПКП уздовж вільного ПС. На шляху руху ЕПКП у ядрі струменя від форсунки до ПФ частина граничних крапель розпорошується в оболонці ПС. Для обліку цього явища в модель введено коефіцієнт розсіювання ЕПКП ядром ПС  $K_{rЯ}$ , який пов'язаний з бічною поверхнею ядра вільного струменя на момент закінчення розвитку ПС. Для опису закону розсіювання ЕПКП ядром струменя запропонована функція вигляду:

$$\sigma_{rn} = a_r (\bar{l}^{1,75} \cdot e^{m_2 \bar{l}}) - d_r (\bar{l}_\Delta - \bar{l})^3, \quad (5)$$

де:  $\bar{l} = l/l_{SE}$  - відносна координата по довжині струменя;  $m_2 = -1,75 \cdot \bar{l}_\Delta$  - показник

ступеня, що визначає момент екстремуму функції;  $d_r$  - коефіцієнт виправної функції, визначений з умови  $\sigma_{r,n} = 0$  при  $\bar{l} = 1$ ;  $a_r = \sigma_{\Sigma} / (\bar{l}_{\Sigma}^{1,75} \cdot e^{m_2 \cdot \bar{l}_{\Sigma}})$  - виправний множник, що забезпечує  $K_{rЯ}$ ;  $\sigma_{\Sigma}$  - екстремальне значення функції, що уточнюється при ітераціях по  $K_{rЯ}$ . Частка  $B_C$  в поточному перетині струменя визначається як сума складових:

$$\Delta\sigma_O(n) = \Delta\sigma_r(n) + \Delta\sigma_{ПФ}(n) + \Delta\sigma_{Я}(n), \quad (6)$$

де:  $\Delta\sigma_r(n) = \sigma_{r,n}(n) - \sigma_{r,n}(n-1)$  - частка крапель ЕПКП, розсіяних на шляху до ПФ ПС;  $\Delta\sigma_{ПФ}(n) = \Delta\sigma(n) - \sum_{i=1}^n (\Delta\sigma_r(n) / (n_k - n))$  - частка крапель, розсіяних ПФ ПС;  $\Delta\sigma_{Я}(n)$  - частка палива, що залишилася в ядрі струменя на момент закінчення його розвитку (розподіляється по закону, аналогічно (5) з максимумом у внутрішній межі ПФ).

Розрахункова характеристика розподілу палива уздовж вільного струменя в момент завершення його розвитку наближається до характеристики, одержаної В.В.Гавриловим по експериментальним миттєвим витратним характеристикам (див. криві 4, рис. 2б).



Рис.2. Характеристики руху і розподілу палива в ПС при імітації умов паливоподачі в дизелі 12ДН23/30: а – миттєві витрати палива через контрольні перетини струменя на відстані від форсунки 0 -125мм; б - розподіл палива по довжині ПС на момент закінчення його розвитку;  $l_s$  - довжина струменя;  $l$  - характеристика руху ЕПКП, поданої з максимальною швидкістю

Характеристики руху і розподілу ЕПКП в пристінному ПС. На рис. 3 показані схеми до розрахунку розвитку ПС та розподілу палива по характерних для випаровування зонах КЗ. Приймаючи швидкість підльоту ЕПКП  $U_\phi$  до бічної стінки КЗ за аналог швидкості її витоку з форсунки, для розрахунку розвитку пристінних ПС використовуються залежності (1-4). Для обліку відмінностей умов руху пристінної ПС уздовж стінки КЗ виділені чотири напрями розтікання палива від точки контакту струменя зі стінкою (точка "3"). Цим напрямкам відповідають вектори  $j=1, 2, 3, 4$  та кути  $\gamma_j$  між ними і віссю струменя. Довжина векторів потоків палива в кожному з напрямів  $l_{wj}$  залежна від радіусу симетричної плями на перпендикулярній стінці  $l_{wm}$  і коефіцієнта асиметрії  $K_j$ :  $l_{wj} = K_j \cdot l_{wm}$ .

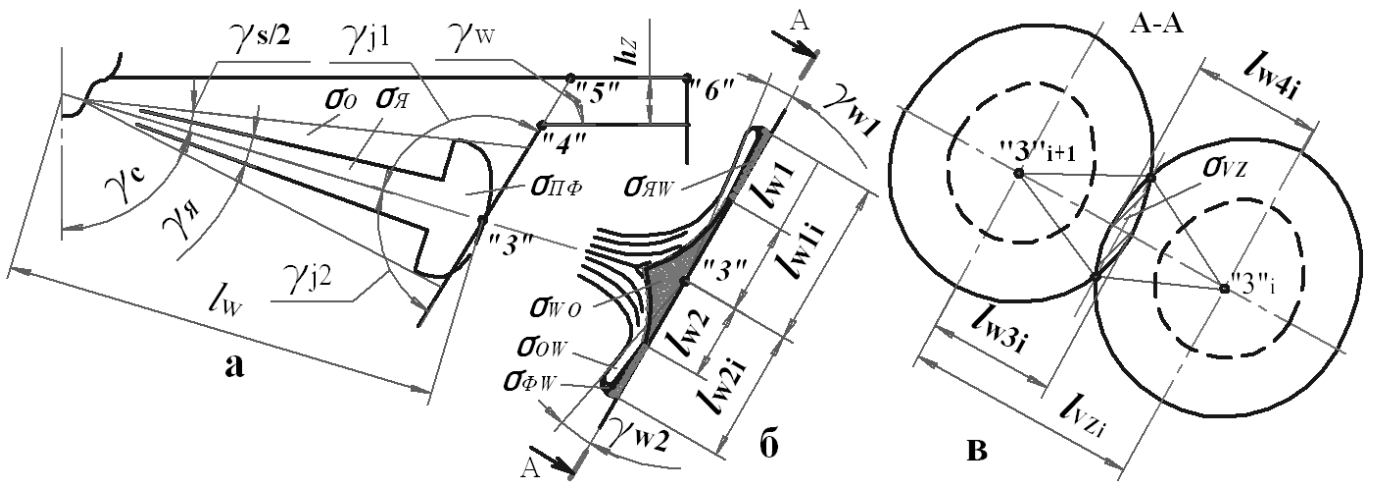


Рис. 3. Схеми до розрахунку розвитку і розподілу палива в КЗ

При виборі функціональної залежності  $K_j$  враховувалося наступне:  $\sum K_j = 4$ ; потік в генеральному напрямі (наприклад, коли  $\lambda_{j=1} > 90^\circ$ ), то від осі циліндра на периферію КЗ збільшується у наслідок полегшення його розвитку в цьому напрямі та за рахунок ежекційного підживлення з суміжних потоків. При цьому більшою мірою скорочується потік, протилежний генеральному, в меншій - поперечні потоки, тобто:  $K_1 > K_{3,4} > K_2$ . При  $\gamma_j > 160^\circ$  характеристики руху пристінного ПС наближаються до характеристик вільного ПС, що розвивається над стінкою, тобто  $l_{w1} \rightarrow 4 \cdot l_{wm}$ . Вказаним умовам задовольняє тригонометрична залежність:

$$K_j = 0,5 \cdot (\sin(\gamma_1) + \sin(\gamma_2)) - 1,6675 \cdot (\cos(\gamma_j) \cdot |\cos(\gamma_j)|). \quad (7)$$

Коефіцієнт пропорційності для поточної довжини струменя на основній ділянці розвитку скоректований з урахуванням гальмування пристінних потоків:

$$B_{SW} = [(\psi / K_j)(l_{SE} - l_W)]^2 / (\tau_{SE} - \tau_{SW}), \quad (8)$$

де:  $\psi \approx 0,8 \dots 0,9$  - параметр гальмування;  $l_{SE}$ ,  $\tau_{SE}$  - відповідно, довжина та момент завершення розвитку ПС;  $l_{SW}$ ,  $\tau_{SW}$  - відповідно, довжина та момент досягнення ПС стінки КЗ. На рис. 4а показаний характер зміни цієї функції залежно від кута  $\gamma_j$  і напрямків вектора  $j$ . По залежностях (1-8) були розраховані швидкість і шлях просування пристінних потоків, дивись рис. 4б. Видно, що розрахункові криві співпадають з експериментальними даними В.В.Гаврилова, що свідчить про допустимість прийнятих спрощень.

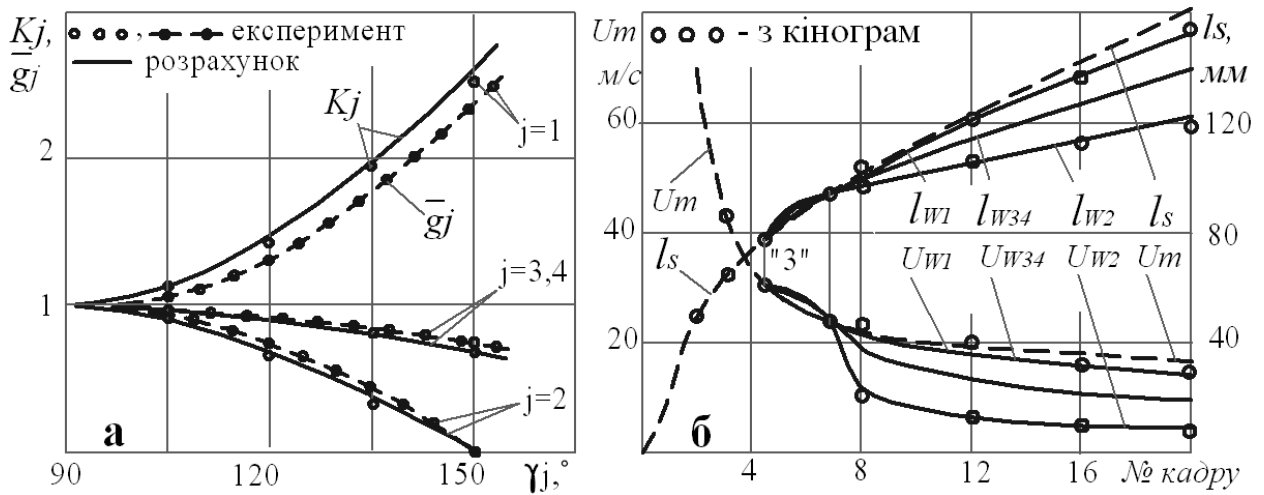


Рис. 4. Відносна зміна розмірів пристінного ПС  $K_j$  та розподіл маси палива у відповідному секторі струменя  $\bar{g}_j$  залежно від кута зустрічі ПС із стінкою КЗ (а) і характеристики руху пристінного ПС для двигуна 1ДН23/30 (б).

Розрахунок розподілу палива по характерних для випаровування зонах ПС і КЗ. Для розрахунку швидкості випаровування палива з урахуванням усереднених показників теплообміну в ядрі  $\sigma_{Я}$ , оболонці  $\sigma_{O}$ , ПФ  $\sigma_{ПФ}$  струменя і в його пристінній частині  $\sigma_{W}$  визначено динаміку накопичення ЕПКП в цих зонах (див. схеми на рисунках 1в, 3а):

$$\sigma_{Я} = (\sigma_S - \sigma_K) \cdot (1 - 0,1 \cdot \bar{l}); \quad \sigma_{ПФ} = K_{рПФ} \cdot (\sigma_K - \sigma) \cdot A; \quad \sigma_{O} = \sigma + K_{rЯ} \cdot (\sigma_K - \sigma) + 0,1 \cdot (\sigma_S - \sigma_K) \cdot \bar{l}, \quad (9)$$

де  $K_{рПФ} = 1 - K_{rЯ}$  введено для скорочення запису виразів.

Долю  $\sigma_{W} = K_{рПФ} \cdot (\sigma_K - \sigma) \cdot (1 - A)$  розподіляємо в аналогічних пристінних зонах (див. схему на рис. 3б):

$$\sigma_{ЯW} = \sigma_{WO} + K_{рПФ} \cdot (\sigma_K - \sigma_{KW}); \quad \sigma_{ФW} = K_{рПФ} \cdot (\sigma_{KW} - \sigma); \quad \sigma_{OW} = K_{рПФ} \cdot (\sigma - \sigma_{W3}) - \sigma_{WO}. \quad (10)$$

Масу палива в кожному з чотирьох секторів овалоподібного пристінного

шару в межах  $\pm 45^\circ$  від  $j$ - того потоку умовно розподіляємо уздовж відповідного вектора:  $\sigma_{Wj} = K_j \cdot \sigma_W / 4$ . Обмеженість розвитку пристінної ПС враховуємо обліком палива, накопиченого в зонах зімкнення потоків від сусідніх струменів та біля стінок кришки і втулки циліндра (див. схеми рис. 3). Долю ЕПКП, що перейшла межу між зонами з різними умовами випаровування, знаходимо як різницю поточного значення  $\sigma_{Wj}$  та в момент перетину певної межі.

Для розрахунку швидкості випаровування палива застосовано відоме кінетичне рівняння М.Ф.Разлейцева, записане для кожної з виділених зон усередненого теплообміну з урахуванням динаміки накопичення палива по (9,10):

$$d\sigma_{u_j}/d\tau = \left[ 1 - \left( 1 - B_{u_j} \cdot \tau_{u_j} \right)^{3/2} \right] \cdot \sigma_{Z_j} / \tau_{u_j},$$

де:  $\tau_{u_j}$  - час випаровування ЕПКП в поточній зоні;  $B_{u_j} = K_{u_j} / d_{32}^2$  - дійсна константа випаровування в зоні;  $\sigma_{Z_j} / \tau_{u_j}$  - середня швидкість надходження циклової частки палива в  $j$ - зону;  $K_{u_j}$  - константа випаровування в  $j$ - зоні.

Константи випаровування в зонах обчислюємо по залежності Д.М.Вирубова. Відмінність умов випаровування крапель в характерних зонах враховуємо відповідним завданням температури рівноважного випаровування  $T_K$  та числа Нуссельта  $NU_D$  для процесів дифузії. У зоні оболонки струменя краплі випаровуються в умовах кондуктивного теплообміну та молекулярної дифузії, тому прийнято:  $NU_D = 2$ ,  $T_K = (0,96 - 0,99) \cdot T_{KP} \approx 700K$ . У зоні ПФ краплинно-газовий осьовий потік інтенсивно взаємодіє з газовим зарядом циліндра, краплі швидко гальмуються і прогріваються. Процес випаровування тут має нестационарний характер, тому:  $NU_D \approx 30 \dots 35$ ,  $T_K = (T_{KO} + T_{KP}) / 2 \approx 520K$ , де  $T_{KO}$  - початкова температура краплі, яка приблизно рівна температурі палива в розпилювачі. У пристінних зонах створюються різні умови випаровування палива у шарі, прилеглому до стінки та розсіяного над нею. З урахуванням прийнятої структури пристінного ПС приймаємо для частки палива в пристінному шарі:  $NU_D \approx 3 \dots 4$ ,  $T_K = T_{W_j}$ , де  $T_{W_j}$  - температура відповідної для поточної зони стінки. Долі палива в об'ємі і ПФ пристінного ПС відносимо до відповідних зон вільного ПС. Повна швидкість випаровування палива в КЗ рівна сумі швидкостей випаровування у всіх зонах.

Для урахування особливостей теплообміну в реальних умовах дизеля та зменшення похибок, пов'язаних з прийнятими спрощеннями в розрахунок дійсної константи випаровування  $B_{u_j}$  в роботі введена емпірична поправка  $Y$ :

$$B_{u_j} = Y \cdot B_{u_j} \approx 1,75 \cdot d_{32} \cdot (H \cdot n)^{0,5} \cdot B_{u_j}.$$

Для розрахунку швидкості тепловиділення використано відоме кінетичне рівняння М.Ф.Разлейцева з урахуванням поправок на коефіцієнти повноти зго-

ряння  $\Psi_0, \Psi_1, \Psi_2, \Psi_3$  (11), коефіцієнт турбулізації  $K_T$  (12) та на ступінь ефективного використання повітряного заряду для згоряння палива  $\xi_\epsilon$  (13):

$$dx/d\tau = \sum \left\{ \begin{array}{ll} \Psi_0 \cdot A_0 (B_C/V) (\sigma_{ui} - x_o) (b_o \sigma_{ui} + x_o), & 0 \leq \tau < \tau_{ui} \\ \Psi_1 \cdot d\sigma_u / d\tau, & 0 \leq \tau < \tau_{SE} \\ \Psi_2 \cdot A_2 (B_C/V_C) (\sigma_u - x) (\xi_\epsilon \alpha - x), & \tau_{ui} \leq \tau < \tau_{SE} \\ \Psi_3 \cdot A_3 \cdot K_T \cdot (1-x) (\xi_\epsilon \alpha - x), & \tau_{SE} \leq \tau < \tau_{KZ} \end{array} \right\},$$

де:  $A_0 = a_0 (H \cdot n)^{0.5}$ ,  $A_2 = a_2 (H \cdot n)^{0.5}$  - коефіцієнти пропорційності, що враховують газодинамічні характеристики двигуна;  $H$  - вихрове відношення;  $n$  - число оборотів колінчатого валу двигуна;  $V, V_C$  - відповідно, об'єми циліндра у момент спалахування та в ВМТ;  $\sigma_u, \sigma_{ui}$  - відповідно, долі циклової порції палива, що випарувалося до поточного моменту та за період затримки спалаху  $\tau_i$ ;  $x, x_o$  - значення сумарного відносного тепловиділення, та відповідного вигорання пари палива, що утворилася за  $\tau_i$ .

Коефіцієнти повноти згоряння палива скоректовано урахуванням розподілу ЕПКП в  $j$ - зонах, та характеристики  $\xi_\epsilon$ :

$$\Psi_0, \Psi_1, \Psi_2, \Psi_3 = 1 - A_1 / (\xi_\epsilon \alpha - x) \left\{ r_V + \sum_{j=3}^{n_{XZ}} \left[ 300 r_{W_j} \cdot \exp(-16000 / (2500 + T_{W_j})) \right] \right\} dx/dt, \quad (11)$$

де:  $A_1 = a_1 \cdot 0,21 / (O_2(1+O)(H \cdot n)^{0.5})$  - коефіцієнт пропорційності, що включає фізико-хімічні константи і газодинамічні характеристики робочої суміші;  $\xi_\epsilon = \alpha_t / \alpha_{cp}$  - ступінь ефективного використання повітряного заряду у визначальній зоні горіння, що враховує особливості притоку кисню в ці зони на різних стадіях згоряння;  $r_V, r_{W_j}$  - відносна швидкість випаровування палива в об'ємі і в пристінних зонах КЗ. Відмінність  $\Psi_0, \Psi_1, \Psi_2, \Psi_3$  враховуємо відповідним завданням характеристики  $\xi_\epsilon$ , а також коефіцієнта  $a_1$ . Так, для  $\Psi_0, \Psi_1$   $a_1 = 0,1$ , а для  $\Psi_2, \Psi_3$  -  $a_1 = 0,075$ .

В коефіцієнт турбулізації заряду у пристінних зонах введена поправка на частку палива в районі контакту ПС зі стінкою КЗ  $\sigma_{WO}$ :

$$K_T = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & \text{для } Z < Z_H \\ 1 + 1 \cdot 10^4 \sigma_{WO} \cdot (Z^2 - Z_H^2), & \text{для } Z \geq Z_H \end{array} \right\}, \quad (12)$$

де:  $Z = (dV/d\tau)/V$  - швидкість відносного подовження елементарного газового стовпа над паливом, що випаровується із стінки КЗ;  $Z_H$  - нижня межа відносної швидкості подовження газового стовпа, після якої починається помітне

руйнування пристінного паливно-газового шару. Для двигунів з об'ємно-пристінним сумішоутворенням величину порогу  $Z_H$  можна прийняти рівною значенню  $Z$  у момент, приблизно рівний  $15^\circ$  ПКВ після ВМТ.

Для урахування концентраційної неоднорідності заряду КЗ при спалаху та в пристінних зонах горіння використовується функція  $\xi_\theta$ . Важлива особливість  $\xi_\theta$  - її закономірна зміна за часом. Цю закономірність добре наближає залежність вигляду:

$$\xi_\theta = 1 - [(1 - \xi_{\theta 0}) / (\bar{\varphi}_{\theta 0}^m \cdot e^{-m}) \cdot \bar{\varphi}^m \cdot e^{(-m \cdot \bar{\varphi} / \bar{\varphi}_{\theta 0})}] , \quad (13)$$

де:  $\bar{\varphi} = \varphi / \varphi_{LZ}$  - відносний момент поточної фази згорання;  $\varphi_{LZ}$  - тривалість фази;  $\bar{\varphi}_{\theta 0}$ ,  $\xi_{\theta 0}$  - координати мінімуму функції;  $m$  - показник ступеня, що забезпечує абсцису точок перегину функції.

В результаті ідентифікації встановлено, що на ділянці паливоподачі:  $m \approx 1,5$ ;  $\bar{\varphi}_{\theta 0} \approx 0,85 \cdot (\varphi_i / \varphi_{ВІПР})$ , а  $\xi_{\theta 0} \approx 0,15 \dots 0,25$  і залежить від  $\sigma_{ui}$ . На ділянці догорання:  $m \approx 2,5$ ;  $\bar{\varphi}_{\theta 0} \approx 0,30 \dots 0,35$ ; для КЗ з  $h_z \rightarrow \min$   $\xi_{\theta 0} = 0,42 \dots 0,8$  і пропорційно залежить від  $H$ , для КЗ з збільшеним  $h_z$  і  $\alpha_R = f(R) \rightarrow \alpha - \xi_{\theta 0} \square (V_{KC} / V_C)$ .

Виконане в дисертації узагальнення емпіричних залежностей для поправочних функцій кінетичних рівнянь випаровування і горіння палива, забезпечили якісне і кількісне відтворення динаміки тепловиділення в форсованих судових та тепловозних дизелях. Для прикладу на рис. 5 зіставлені результати ідентифікації тепловиділення для двигуна 1ЧН26/34.

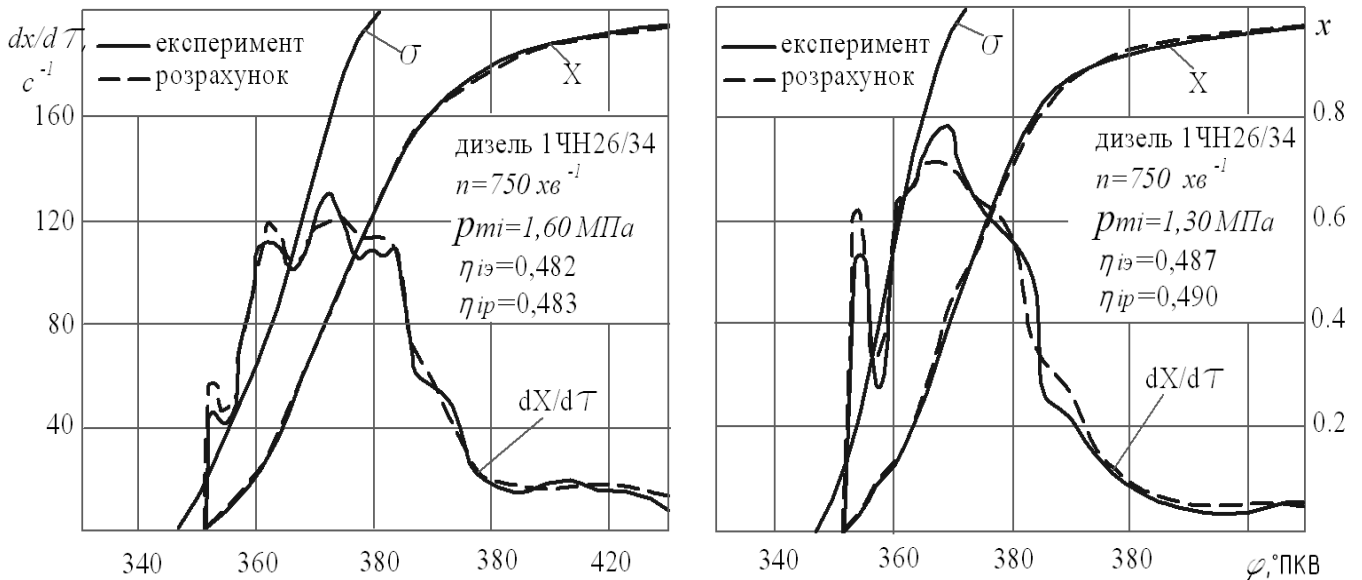


Рис. 5. Результати ідентифікації математичної моделі циклу дизеля

**У третьому розділі** на підставі узагальнення результатів досліджень запропоновані: принципи організації ефективного сумішоутворення у форсованих дизелях, методика і критерії оптимального узгодження характеристик

вприскування палива та форми КЗ. Розроблені методика і програма конструювання КЗ по умові вирівнювання повітряно-паливного відношення уздовж радіусу циліндра, що включають як проектний, так і перевірочний розрахунки. Для забезпечення  $\alpha_R = f(R) \rightarrow const$  використовуються алгоритми розрахунку геометричних характеристик КЗ і характеристик паливopодачі, розвитку і розподілу ЕПКП в струмені і КЗ на момент закінчення розвитку ПС. Розрахунок фактичного значення повітряно-паливного відношення уздовж радіусу циліндра виконується по формулі  $\alpha_R = \alpha \cdot h_{KC} / h_T$ , де:  $\alpha$  - коефіцієнт надлишку повітря;  $h_{KC}$  - поточні значення глибини фактичної КЗ. Поточне значення глибини оптимальної КЗ знаходимо за умови постійності повітряно-паливного відношення упродовж  $R$ :

$$h_T = V_{KC} \cdot (d\sigma / dR) / (2\pi R),$$

де  $d\sigma/dR$  - концентрація палива на поточному кроці розрахунку уздовж радіусу циліндра на момент закінчення розвитку ПС. Для прикладу на рис.6 приведені результати розрахунку  $d\sigma$ ,  $\alpha_R$ ,  $h_T = f(R)$  для КЗ5 двигуна 1ЧН26/34.

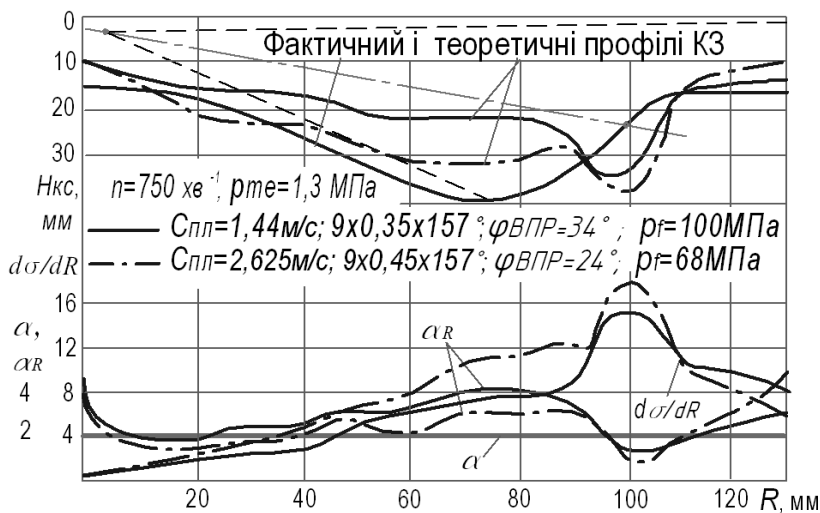


Рис. 6. Результати розрахункової профілізації КЗ та характеристики розподілу палива уздовж радіусу циліндра дизеля 1ЧН26/34 при зміні інтенсивності паливopодачі

Аналіз результатів узгодження розподілу палива в КЗ показав, що методика дозволяє визначити зони, перебагачені паливом, оцінити ступінь перебагачення і вжити відповідні заходи для забезпечення  $\alpha_R \rightarrow \alpha$ . Для усунення перебагачення паливом повітряного заряду в районі контакту ПС з КЗ, де  $\alpha_R \ll \alpha$  можливі спеціальні конструктивні рішення по перерозподілу пристінного палива і повітряного заряду. Наприклад, подвійний кут нахилу периферійної поверхні камери, що забезпечує руйнування ущільненої плями палива  $\sigma_{WO}$  на стінці (КЗ Касьянова), поглиблення камери в районі скупчення пристінного палива (КЗ Прошкіна), організація радіальної складової вихрового руху заряду (периферійно-вихрова КЗ Разлейцева) та ін. Оцінка  $\alpha_R$  дозволяє обґрунтовано вибирати форму і розміри периферійної поверхні для таких камер КЗ.

Для отримання розрахункових значень індикаторних і ефективних показників робочого процесу був розроблений інтерактивний комплекс програмно-

го забезпечення, що включає підпрограми аналізу і синтезу характеристик тепловиділення і індикаторних діаграм, а також графічну підсистему для візуалізації результатів розрахунку. З метою перевірки результатів розрахункового узгодження характеристик впрыскування палива та форми КЗ розроблені методика і програма експериментальних досліджень. Як основний об'єкт для фізичного моделювання взято експериментальний одноциліндровий двигун 1ЧН26/34. У розділі приведено аналіз вимірювальних систем випробувального стенду і оцінка точності вимірювань основних параметрів досліджуваних процесів. Описана методика обробки експериментальних даних, зокрема осцилограм процесів паливоподачі та індикаторних діаграм.

**У четвертому розділі** наведено аналіз результатів комплексного розрахунково-експериментального дослідження щодо вибору раціональних конструктивно-регульовальних параметрів ПА і форми КЗ на прикладі двигуна 1ЧН26/34, моделюючого режиму роботи судового дизель-генератора 6ЧН26/34.

На першому етапі, орієнтуючись на початкову інформацію про двигун (розмірність -  $s/d$ , рівень форсування по  $p_{me}$ , призначення і т.д.) виконувалася розрахункова профілізація КЗ (див. рис. 6, 7).

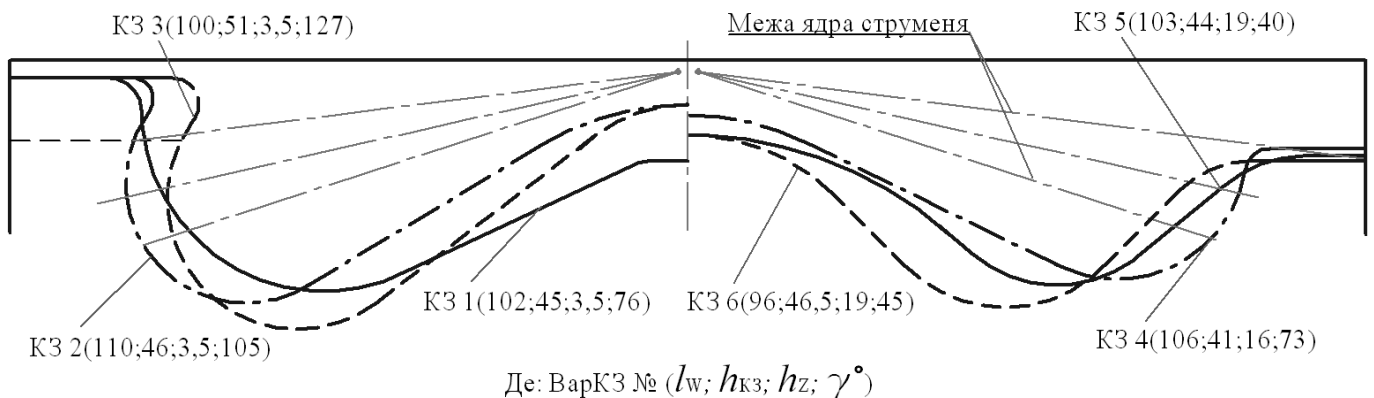


Рис. 7. Суміщені профілі варіантів КЗ для двигуна 1ЧН26/34

Тип, форма і розміри КЗ приймалися по трьом основним критеріям: постійності  $\alpha_R \rightarrow \alpha$ , допустимій частці палива в зонах взаємодії сусідніх ПС на бічній стінці гребеня поршня  $\sigma_{VZ}$  і частці палива, що потрапила на гільзу циліндра  $\sigma_T$ . Для дії на ці критерії змінювалися: інтенсивність подачі палива плунжером паливного насоса  $V_f$ , параметри розпилювача (число, діаметр та кут нахилу осей отворів розпилювача форсунки  $i_c \times d_c \times \gamma_c$ ) при оптимальному утопленні отворів розпилювача в КЗ  $h_c$ . На другому етапі уточнювали параметри паливоподачі на підставі розрахунку показників процесів випаровування і згоряння палива, а також індикаторних та ефективних показників циклу дизеля з урахуванням закону для коефіцієнта завантаження двигуна в експлуатації  $K_M$ . На останньому етапі виконувалася експериментальна перевірка вибраних роз-

рахунком характеристик сумішоутворення та згоряння, і остаточно формулювалися вимоги до параметрів ПА і КЗ.

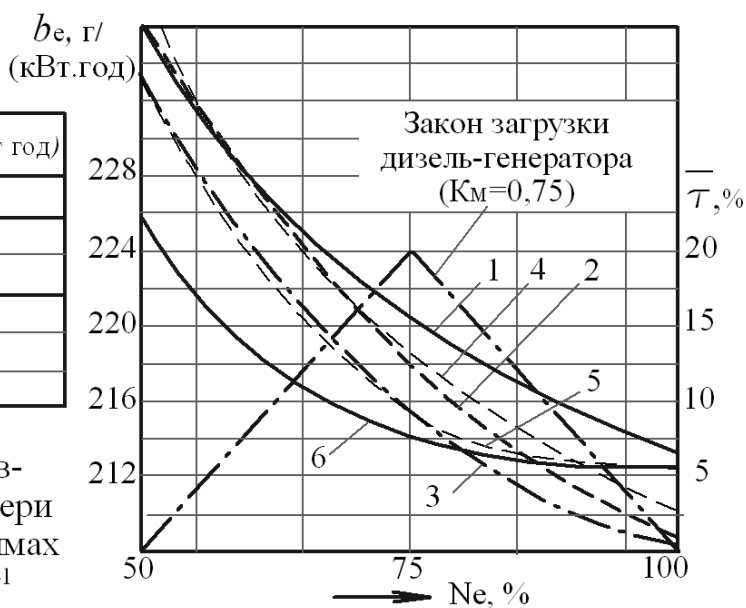
Дослідження показали, що при фіксованому ефективному прохідному перерізі розпилювача  $\mu_c f_c$  бажано збільшувати  $i_c$  до появи на номінальному режимі роботи перекриття зон сумішоутворення від сусідніх потоків ( $\sigma_{VZ} \leq 0,2$ ), забезпеченні  $\alpha_R \rightarrow \alpha$ , а також долі палива біля втулки циліндра ( $\sigma_T < 0,1$ ). При зниженні навантаження дизеля на режимах експлуатації  $\sigma_{VZ}$  зменшується, підсилюючи позитивний ефект від поліпшення дрібності розпилювання і макро-розподілу палива.

Серед КЗ з високим гребенем кращою виявилася КЗ2 з максимально можливим діаметром тора, що забезпечує  $l_w = 110$  мм. Проте, наявність глибоких вибірок під клапани не дозволяє повністю використовувати для сумішоутворення і згоряння зарезервованій в них повітряний заряд. Тому в камерах згоряння КЗ4, КЗ5 і КЗ6 була знижена висота гребеня поршня до виключення вибірок під клапани при збереженні незмінною  $\varepsilon = 13,8$ . Для полегшення надходження палива в збільшений надпоршневий зазор з метою наближення до  $\alpha_R \rightarrow \alpha$  у КЗ5 був зменшений  $\gamma_w$  до  $40^\circ$  і збільшений радіус кромки гребеня до 25 мм. На рис. 8. показано зміну питомої ефективної витрати палива для двигуна 1ЧН26/34 та варіантів ПА і КЗ, див. таблицю. В порівнянні із штатною комплектацією ПА і КЗ найбільше зменшення середньої експлуатаційної витрати палива (до 3%) було одержано для варіанту КЗ5 при наступному поєднанні параметрів:  $d_{KC}/d = 0,85$ ;  $h_{KC} = 48$  мм;  $h_z = 18$  мм;  $\gamma_K = 65^\circ$ ;  $\gamma_w = 40^\circ$ ;  $i_c \times d_c \times \gamma_c = 9 \times 0,35 \times 157^\circ$ ;  $p_f = 68$  МПа;  $C_{пер} = 1,44$  м/с.

Варіанти комплектацій ПА і КЗ

Вар. ПА і КЗ	дп, мм	Сп, м/с	dc, мм	$b_{е\tau}$ , г/(кВт год)
1 - КЗ 1	18	1,730	0,398	220,9
2 - КЗ 5	20	1,440	0,354	218,0
3 - КЗ 5	20	2,625	0,442	216,0
4 - КЗ 1	20	1,440	0,354	218,8
5 - КЗ 2	20	1,440	0,354	216,3
6 - КЗ 5	20	1,440	0,354	214,2

Рис. 8. Результати узгодження інтенсивності паливостачання та форми камери згоряння для дизеля 1ЧН26/34 на режимах нагруженої характеристики  $n=750$  хв<sup>-1</sup>



Аналогічні дослідження були виконані для дизелів типу ЧН25/34, ЧН25/27 і ЧН32/32, що забезпечили поліпшення середньої експлуатаційної паливної економічності від 1,5 до 3%. Дослідження вищевказаних дизелів також пока-

зали, що при  $s/d > 1,0$  зменшується негативний вплив стислості КЗ вільному розвитку ПС, що дозволяє форсування по  $p_{me}$  в умовах обмеження  $p_{max}$  без істотного зменшення  $\varepsilon$ .

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі поставлено і вирішено науково-технічне завдання поліпшення економічності форсованих дизелів шляхом узгодження характеристик впорскування палива та форми КЗ. Для досягнення кращих техніко-економічних показників роботи форсованого дизеля важливо забезпечити оптимальне поєднання дрібності розпилювання палива і просторово-часових характеристик розподілу палива в повітряній суміші, визначуваних параметрами заряду циліндра, ПА і форми КЗ.

Основні результати і висновки по дисертації полягають в нижченаведеному.

1. На основі сучасних уявлень про структуру та динаміку розвитку ПС запропоновані загальні принципи і система розрахункових методик узгодження характеристик впорскування палива та форми КЗ для форсованих дизелів, що включають:

- методику розрахунку руху і розподілу ЕПКП у вільному ПС, при його взаємодії зі стінками КЗ та між собою;

- методику розрахункового узгодження характеристик впорскування палива та форми і розмірів КЗ по критерію вирівнювання повітряно-паливного відношення в радіальному напрямі ( $\alpha_R = f(R) \rightarrow const \approx \alpha$ );

- уточнену методику розрахунку випаровування і згоряння палива по кінетичним рівнянням М.Ф.Разлейцева з урахуванням умов випаровування в оболонці струменя, в ПФ струменя та в пристінних зонах (у гребеня поршня, у денця кришки циліндра, у гільзи циліндра та в зоні перекриття сусідніх потоків палива у гребеня поршня). Скоректовані аналітичні залежності розрахунку констант випаровування в цих зонах для крапель представницького розміру. Відмінність умов випаровування в зонах врахована шляхом відповідного завдання граничних умов по середній температурі і критерію Нуссельта для процесів дифузії. Узагальнені емпіричні залежності для поправочних коефіцієнтів кінетичних рівнянь випаровування і горіння палива, що забезпечують якісне і кількісне відтворення  $dx/d\tau$  в дизелях з  $d=120\dots320$  мм та  $n=500\dots2000$  хв<sup>-1</sup>;

- методику обробки і аналізу експериментальних індикаторних діаграм для отримання характеристик тепловиділення. Для усунення «шуму» та похибок в експериментальному масиві ординат тиску, застосований алгоритм згладжування, що використовує кубічні сплайни.

2. Математична модель циклу дизеля реалізована у вигляді сучасного програмного комплексу, що забезпечує функціонування вищезгаданих розрахункових методів аналізу і синтезу індикаторних діаграм та дозволяє ви-

конувати комп'ютерну оптимізацію робочого процесу дизелів. Модель реагує на зміну параметрів ПА і КЗ аналогічно реальному дизелю. Похибки розрахункових параметрів і характеристик на кожному етапі моделювання не перевищують похибок їх експериментального визначення.

3. Класифікація конструктивних рішень, вживаних при модернізації неподілених КЗ зведена до двох варіантів. Для першого варіанту характерне сумішоутворення, здійснюване переважно в глибокій камері поршня шляхом інтенсифікації руху повітряного заряду і запобігання попаданню палива в мінімально можливий  $h_z=2\dots3$  мм. Для другого - шляхом перерозподілу повітряного заряду на периферію камери в збільшений  $h_z>14\dots20$  мм та забезпеченню  $\alpha_R = f(R) \rightarrow const \approx \alpha$ . Перший варіант КЗ раціональний для дизелів з  $d \leq 250$  мм та  $s/d \rightarrow 1$  при  $p_{me} \leq 16$  бар. Із збільшенням  $d \geq 250$  мм,  $s/d > 1,3$  та  $p_{me} > 16$  бар більш придатні КЗ другого варіанту при  $d_{KC}/d = 0,85\dots1$ .

4. Розрахунково-експериментальні дослідження по узгодженню характеристик вприскування палива і форми КЗ для дизелів типу ЧН25/34, ЧН26/34, ЧН25/27 та ЧН32/32. Для дизелів вибрані і рекомендовані раціональні значення конструктивно-регулювальних параметрів ПА і геометричні характеристики КЗ, що забезпечують поліпшення середньої експлуатаційної паливної економічності від 1,5 до 3%.

5. Результати дослідження відображені у публікаціях здобувача, а також передані ВО "Завод імені Малишева", ВО "Коломенський завод" і ВАТ «Первомайськдизельмаш» в відповідних науково-технічних звітах. Результати дослідження та програмний комплекс розрахунку робочого процесу дизеля використовується в практиці науково-дослідних робіт лабораторії перспективних двигунів каф. ДВЗ НТУ «ХП».

#### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Процессы в перспективных дизелях // Шеховцов А.Ф., Абрамчук Ф.И., Крутов В.И., Марченко А.П., Разлейцев Н.Ф., Сукачев И.И., Третьак Е.И., Шокотов Н.К., Э. Эплер / Под ред. А.Ф.Шеховцова.-Х.: Изд-во «Основа» при Харьк. ун-те, 1992.-352 с. Здобувачем підготовлені матеріали для другого розділу монографії щодо аналізу експериментальних досліджень, методів розрахунку руху, розподілу, випаровування та згоряння розпорошеного палива з урахуванням взаємодії ПС зі стінками КЗ і принципів організації процесів сумішоутворення та згоряння у форсованих дизелях.

2. Сукачев И.И., Кох Г.А., Васильев А.В. Исследование влияния формы камеры сгорания на рабочий процесс судового среднеоборотного дизеля 6ЧН26/34 // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков: «Вища школа», 1980.- Вып.31.- С.24-30. Здобувачем наведено аналіз впливу форми КЗ на показники робочого процесу дизеля.

3. Разлейцев Н.Ф., Филипковский А.И., Семенов В.Г., Сукачев И.И. Результаты экспериментального исследования рабочего процесса дизеля 1ЧН32/32 на режимах тепловозной характеристики // Двигатели внутреннего

сгорания. - Харьков: «Вища школа», 1983.- Вып.38.- С.3-9. Здобувачем експериментально визначені ефективні показники роботи двигуна та розраховані характеристики тепловиділення.

4. Разлейцев Н.Ф., Сукачев И.И. Расчет движения и распределения топлива в дизельной струе // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков: «Вища школа», 1989.- Вып.49.- С.72-80. Здобувачем виконані розрахунки руху та розподілу палива в дизельному струмені.

5. Марченко А.П., Семенов В.Г., Сукачев И.И., Линьков О.Ю. Расчетное исследование особенностей процесса дизеля СМД-31 при его работе на традиционном дизельном топливе и метилових эфирах рапсового масла // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: Гос. Аэрокосм. Ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2000.- Вып.19.- С.155-157. Здобувач приймав участь в розробці методики і виконанні розрахункового дослідження.

6. Марченко А.П., Сукачев И.И., Гаврилов В.В. Методика расчета движения и распределения топлива в камере сгорания дизелей со струйным смесеобразованием // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. - №1.- С.53-58. Здобувачем розроблені методики розрахунку руху і розподілу палива в КЗ.

7. Марченко А.П., Сукачев И.И. Методика согласования характеристик топливоподачи и камеры сгорания в дизелях со струйным смесеобразованием // Двигатели внутреннего сгорания. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. - №2.- С.39-44. Здобувачем розроблена методика узгодження характеристик впрыскування палива та форми КЗ.

8. Марченко А.П., Сукачев И.И., Прохоренко А.А. Современные методы расчета и результаты оптимизации тепловыделения в перспективных дизелях // Труды международной научно-технической конференции «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье», - Харьков, 1997. - т.3. - С.336-340. Здобувачем підготовлені матеріали щодо методів розрахунку тепловиділення в дизелях.

## АНОТАЦІЇ

Сукачов І.І. Поліпшення паливної економічності форсованих дизелів шляхом узгодження характеристик впрыскування палива і форми камери згоряння. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.03 - теплові двигуни. - Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2005.

Дисертація присвячена вивченню особливостей процесів сумішоутворення і згоряння у форсованих дизелях та вибору раціональних параметрів характеристик впрыскування палива і форми камери згоряння. Об'єктом дослідження є процеси сумішоутворення та згоряння в судових і тепловозних дизелях типу ЧН25/27, ЧН25/34, ЧН26/34, ЧН26/27 і ЧН32/32. Розглянуті специфіка і особливості процесів сумішоутворення і згоряння у форсованих дизелях. Ви-

явлені основні причини зниження швидкостей випаровування і згоряння збільшених циклових порцій палива і визначені методи і способи узгодження характеристик вприскування палива і форми камери згоряння. Розроблені математична модель циклу дизеля, комплекс програмного забезпечення для розрахунку робочого процесу, в тому числі, характеристик вприскування палива, розподілу палива в струмені та камері згоряння, характеристик сумішоутворення і згоряння.

Виконані розрахунково-експериментальні дослідження для погодження характеристик вприскування палива і камер згоряння, які дозволили обґрунтовано вибрати раціональні параметри паливної апаратури, характеристик вприскування палива і форми камери згоряння, що забезпечили зниження експлуатаційної витрати палива в досліджених дизелях на 1,5-3%.

Ключові слова: форсовані дизелі, характеристики вприскування палива, камера згоряння, сумішоутворення та згоряння палива, моделювання, паливна економічність.

Сукачев И.И. Улучшение топливной экономичности форсированных дизелей путем согласования характеристик впрыскивания топлива и формы камеры сгорания. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – тепловые двигатели. – Национальный технический университет „Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2005.

Диссертация посвящена изучению особенностей процессов смесеобразования и сгорания в форсированных дизелях и выбору рациональных параметров характеристик впрыскивания топлива и формы камеры сгорания. В качестве объектов исследования приняты форсированные судовые и тепловозные дизели типа ЧН25/27, ЧН25/34, ЧН26/34, ЧН26/27 и ЧН32/32. Рассмотрены специфика и особенности процессов смесеобразования и сгорания в форсированных дизелях. В работе показано, что с увеличением уровня форсирования дизелей по среднему эффективному давлению при установленных ограничениях на параметры цикла и топливоснабжения усиливается негативное влияние стесненности неразделенных камер сгорания, а также усложняется проблема обеспечения оптимального распределения топлива в камере по характеристике работы двигателя. Для достижения высоких технико-экономических и экологических показателей работы форсированного дизеля важно обеспечить оптимальное сочетание мелкости распыливания топлива и пространственно-временных характеристик распределения топлива в воздушной смеси, определяемых параметрами заряда цилиндра, топливной аппаратуры и формы камеры сгорания. Классификация различных конструктивных решений известных модернизаций камер сгорания типа Гессельман сведена к двум основным вариантам. Для первого характерно смесеобразование в глубокой камере в поршне при минимальном надпоршневом зазоре и повышенном вращении заряда на впуске. Для второго – путем перераспределения воздушного заряда на периферию камеры сгорания, в том числе в специально увеличенный

надпоршневой зазор, где сосредотачивается основная масса топлива. Установлено, что для исследуемых вариантов дизелей более рационален второй вариант модернизации камер сгорания.

Разработана методика и программа расчетного конструирования неразделенных камер сгорания по условию выравнивания воздушно-топливного отношения вдоль радиуса цилиндра. Методика позволяет оптимально распределить топливо в объеме камеры сгорания путем согласования характеристик впрыскивания топлива и (или) уточнить форму и размеры отдельных элементов камеры. Уточнена методика расчета испарения и сгорания топлива по кинетическим уравнениям Н.Ф.Разлейцева в характерных для испарения зонах камеры сгорания: в оболочке струи, в переднем фронте струи, в пристеночной зоне гребня поршня, в пристеночной зоне доньшка крышки цилиндра, у гильзы цилиндра и в зоне смыкания соседних струй у гребня поршня. На основе вышеуказанных методик уточнена математическая модель цикла дизеля со струйным смесеобразованием. Уточнена методика обработки и анализа экспериментальных индикаторных диаграмм для получения характеристик тепловыделения. Для устранения «шума» и ошибок в исходном массиве ординат давлений, применен алгоритм сглаживания, использующий кубические сплайны. Разработан комплекс программного обеспечения для расчета рабочего процесса форсированных дизелей, включающий вышеуказанные методики, обеспечивающий качественное и количественное воспроизведение характера динамики тепловыделения и показателей цикла в дизелях с диаметром цилиндра 120...320 мм и частотой вращения коленвала 500...2000 мин<sup>-1</sup>.

Выполнены расчетно-экспериментальные исследования по согласованию характеристик впрыскивания топлива и камер сгорания, позволившие обоснованно выбрать рациональные параметры топливной аппаратуры, характеристик впрыскивания топлива и формы камер сгорания, обеспечившие снижение эксплуатационного расхода топлива в исследованных дизелях на 1,5-3%.

Ключевые слова: форсированные дизели, характеристики впрыскивания топлива, камера сгорания, смесеобразование и сгорание топлива, моделирование, топливная экономичность.

Sukachov I.I. Improvement of fuel economy of the forced diesels by the concordance of descriptions of injection of fuel and form of combustion chamber. – Manuscript.

Dissertation on the receipt of graduate degree of candidate of engineering sciences on speciality 05.05.03 are heat-engines. it is the National technical university the «Kharkov polytechnic institute» Kharkov, 2005.

Dissertation is devoted to the study of features of processes formations of working mixture and combustion in the forced diesels and choice of rational parameters of descriptions of injection of fuel and form of combustion chamber. It is a research object judicial Ships and diesel engines diesels of dimension: 25/27, 25/34,

26/34, 26/27 and 32/32. . A specific and features of processes of formations of working mixture and combustion is considered in the forced diesels. The found out the principal reasons of decline of speeds of evaporation and combustion of megascopic cyclic portions is fuels and certain methods and methods of concordance of descriptions of injection of fuel and form of combustion chamber. Developed mathematical model of cycle of diesel, complex of software for the calculation of working process, in that number, descriptions of injection of fuel, division of fuel in a stream and combustion, descriptions of formations of working mixture and combustion chamber.

Executed calculation-experimental researches for the concordance of descriptions of injection of fuel and chambers combustions, which allowed grounded to choose the rational parameters of fuel apparatus, descriptions of injection of fuel and form of combustion chamber, which provided the decline of operating cost of fuel in the explored diesels on 1,5-3%.

Keywords: forced diesels, descriptions of injection fuels, combustion chamber, working mixture and combustion fuels, design, fuel economy.

Відповідальний за випуск к.т.н., доц. Прохоренко А.О.

Підписано до друку 10.04.2006 р. Формат 60x90/16. Папір офсетний.  
Віддруковано на ризографі. Обл.-вид. арк.0,9.  
Гарнітура Times New Roman. Тираж 100 прим. Зам. №695905

---

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.  
Свідоцтво № 04058841Ф0050331 від 21.03.2001 р.  
61024, м. Харків, вул. Гуданова, 4/10

---