

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Альохін Віталій Ігорович



УДК 621.436: 539.3: 621.74

**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ  
ПОРШНІВ ДВЗ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ЛИВАРНИХ  
ДЕФЕКТІВ НА МІЦНІСНУ НАДІЙНІСТЬ**

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі ливарного виробництва Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Акімов Олег Вікторович**,  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,  
завідувач кафедри ливарного виробництва

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Симбірський Дмитро Федорович**,  
Національний аерокосмічний університет  
ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний  
інститут», м. Харків,  
професор кафедри конструкцій авіаційних двигунів

кандидат технічних наук  
**Зотов Олександр Олександрович**,  
ПП «Вектор-атракціон», м. Харків,  
провідний інженер-конструктор

Захист відбудеться «30» травня 2013 р. о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.13 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 в науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Осетров О.О.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сучасні тенденції проектування, виробництва та експлуатації двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) характеризуються постійним збільшенням потужності при мінімальних викидах токсичних компонентів, що приводить, у свою чергу, до збільшення термомеханічних навантажень на окремі деталі та вузли двигуна. Однією з найбільш значимих деталей для надійної роботи двигуна є поршень. Забезпечення його необхідних характеристик багато в чому залежить від якості конструкційних матеріалів та параметрів технології виробництва. Як правило, в двигунах з примусовим запалюванням автотранспортного призначення застосовуються поршні з алюмінієвих сплавів, що мають досить високі міцнісні властивості та зносостійкість в литому стані.

У двигунобудуванні при проектуванні нових ДВЗ і модернізації існуючих особлива увага приділяється міцнісним розрахункам деталей циліндро-поршневої групи. Для розрахунків поршнів використовується деталь заданої геометричної конфігурації з певного конструкційного матеріалу, але треба більше уваги надати врахуванню технологічних чинників, які пов'язані з реальними ливарними дефектами газоусадкового характеру та впливу їх розмірів і місць розташування на міцнісні характеристики поршнів ДВЗ.

У зв'язку з вищезазначеним, створення технології комп'ютерно-інтегрованого проектування поршнів ДВЗ із сумісним моделюванням теплових, гідродинамічних параметрів лиття та розрахунком напружено-деформованого стану (НДС), а також врахування впливу ливарних дефектів на міцнісну надійність поршнів є актуальною науково-прикладною задачею, яка визначила напрямок дисертаційного дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі ливарного виробництва НТУ «ХПІ». Здобувач як виконавець брав участь у дослідженнях за держбюджетною темою МОНмолодьспорту України «Інтеграція фізико-хімічних процесів згорання при сумісному керуванні показниками екологічності, економічності та надійності транспортних ДВЗ» (2012р., ДР №0112U000404) та за господарськими договорами: «Наукові основи і методи комп'ютерно-інтегрованого ресурсного проектування литих деталей двигунів внутрішнього згорання» (КП «ХКБД», м. Харків) та «Наукові основи і методи комп'ютерно-інтегрованого ресурсного проектування відливок деталей двигунів внутрішнього згорання» (ТОВ «Українська ливарна компанія», АТ «УПЕК», м. Харків).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційного дослідження є наукове обґрунтування та створення технології комп'ютерно-інтегрованого проектування поршнів ДВЗ із комплексним застосуванням інженерного моделювання для аналізу міцнісної надійності з врахуванням ливарних дефектів.

Для досягнення поставленої мети сформульовані завдання:

1. Виконати аналіз сучасних технологій проектування, методик розрахунку міцнісної надійності та методів моделювання процесів виробництва литих поршнів ДВЗ.

2. Створити універсальну технологію комплексного комп'ютерно-інтегрованого проектування поршнів ДВЗ із застосуванням моделювання параметрів лиття та розрахунком напружено-деформованого стану з урахуванням впливу ливарних дефектів на міцнісну надійність поршнів.

3. Розробити метод визначення місць розташування і розмірів газоусадкових дефектів в литому поршні з використанням комп'ютерно-інтегрованого моделювання ливарних процесів та експериментальних досліджень на виробництві.

4. Створити чисельну модель термомеханічної дії на литий поршень ДВЗ з дефектами газоусадкового характеру та удосконалити розрахунковий аналіз міцнісної надійності поршнів.

5. Визначити вплив газоусадкових дефектів на міцнісну надійність литого поршня ДВЗ з примусовим запалюванням при спільному термомеханічному навантаженні на різних режимах роботи двигуна.

6. Визначити залежність напружено-деформованого стану в місцях розташування ливарних дефектів від їх розмірів в поршнях ДВЗ, а також розробити рекомендації з використання технології комп'ютерно-інтегрованого проектування при розробці нових поршнів і модернізації існуючих; впровадити рекомендації у виробництво.

*Об'єкт дослідження* - процеси проектування і технологічної підготовки виробництва литих поршнів ДВЗ.

*Предмет дослідження* – комп'ютерно-інтегроване проектування литих поршнів ДВЗ та оцінка характеристик міцнісної надійності з урахуванням ливарних дефектів.

**Методи дослідження.** Усі теоретичні аспекти дисертації базуються на фундаментальних положеннях теорії ДВЗ, теорії машин і механізмів, теорії деталей машин, опору матеріалів і сучасному математичному інструментарії. В процесі комп'ютерно-інтегрованого проектування застосовані чисельні і чисельно-аналітичні методи: метод скінчених різниць в тривимірній об'ємній постановці для моделювання теплових і гідродинамічних процесів лиття, метод скінчених елементів для аналізу термомеханічного навантаження литих поршнів ДВЗ. Узагальнення експериментальних даних і чисельних результатів розрахунку впливу ливарних дефектів на міцнісні характеристики поршнів ДВЗ проводилося з використанням методу планування експерименту.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Уперше запропоновано комплексний підхід до сумісного застосування комп'ютерно-інтегрованих систем моделювання теплових, гідродинамічних параметрів процесу лиття і розрахунку напружено-деформованого стану поршнів з урахуванням впливу ливарних дефектів на міцнісну надійність поршнів ДВЗ із примусовим запалюванням.

2. Запропоновані чисельні моделі напружено-деформованого стану при термомеханічній дії на поршень, які відрізняються від існуючих урахуванням ливарних дефектів газоусадкового характеру.

3. Уперше запропоновано метод визначення розмірів і місць розташування ливарних дефектів у поршні ДВЗ із сумісним використанням інженерного моделювання та експериментальних досліджень у виробництві.

**Практичне значення одержаних результатів** для двигунобудування полягає у створенні підходів до комп'ютерно-інтегрованого проектування, що враховують вплив газоусадкових дефектів на міцнісну надійність і пропонуються для використання при виконанні наукових робіт, підготовці виробництва, проектування інших литих деталей сучасних ДВЗ.

Розроблена технологія комп'ютерно-інтегрованого проектування дає можливість урахування впливу ливарних дефектів на міцнісну надійність поршнів ДВЗ, що значно підвищує якісний рівень створення та виробництва двигунів.

Результати досліджень впроваджені та використовуються у ТОВ «Українська ливарна компанія» (АТ «УПЕК», м. Харків) та КП «ХКБД» (м. Харків), що дало змогу скоротити час розробки технології та знизити металоємність ДВЗ.

Технологія конструкторсько-технологічного проектування та результати досліджень аналізу впливу ливарних дефектів на втомну міцність литих поршнів ДВЗ впроваджені у виробництво на ПАТ «АВТРАМАТ» (м. Харків) для 19 моделей поршнів двигунів із примусовим запалюванням.

Результати дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі на кафедрах двигунів внутрішнього згоряння та ливарного виробництва НТУ «ХП».

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні результати роботи, які винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них:

- алгоритм конструкторсько-технологічної взаємодії при проектуванні на базі єдиної електронної моделі поршня ДВЗ;

- розроблено метод визначення місць розташування та розмірів ливарних дефектів із сумісним використанням комп'ютерно-інтегрованих систем моделювання і результатів експериментальних досліджень;

- створено скінченно-елементну модель поршня з ливарними дефектами та визначено граничні умови для аналізу термомеханічного навантаження в місцях їх розташування;

- визначено вплив ливарних дефектів газоусадкового характеру на міцнісну надійність поршнів ДВЗ з примусовим запалюванням;

- створено і впроваджено рекомендації для практичного застосування на виробництві нової технології проектування поршнів з урахуванням аналізу впливу ливарних дефектів на міцнісну надійність поршнів ДВЗ з примусовим запалюванням.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень доповідались, обговорені і позитивно оцінені на: XIV - XX Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2006 - 2012 рр.); XIV - XVII Міжнародних конгресах двигунобудівників (с. Рибаче, АР Крим, 2009 – 2012 рр.); VI - VIII Міжнародних науково-практичних конференціях ЛИТВО 2010 – 2012 (м. Запоріжжя, 2010-2012 рр.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації відображено у 16 наукових публікаціях, з них: 13 – у наукових фахових виданнях України, 3 – у матеріалах конференцій.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, додатків. Загальний обсяг роботи становить 170 сторінок; з них 30 рисунків за текстом, 8 рисунків на 9 окремих сторінках, 18 таблиць за текстом, 3 таблиці на 4 окремих сторінках, список використаних джерел складає з 181 найменувань на 20 сторінках, 2 додатки на 17 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обгрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульована мета і основні задачі дослідження, приведена інформація про наукову новизну, практичне значення одержаних результатів і особистий внесок здобувача в роботу.

**У першому розділі** виконано аналіз сучасних технологій комп'ютерно-інтегрованого проектування литих поршнів ДВЗ з безперервною конструкторсько-технологічною взаємодією і використанням принципів CALS. Досліджено процес утворення газоусадкових дефектів в литих поршнях ДВЗ, а також застосування інтегрованих комп'ютерних систем в практиці виробників поршнів ДВЗ.

Показано, що достатня увага приділяється міцнісним розрахункам деталей поршнів дизельних двигунів, зокрема прогнозуванню теплонапруженого стану і оцінці термовтомної міцності в області камер згоряння поршнів, розрахунку напружено-деформованого стану корпусних деталей ДВЗ. Проте завдання, з якими доводиться нині стикатися дослідникам і фахівцям в цій галузі, є досить складними і вимагають певних витрат на експериментальну реалізацію. Однією з єдиних можливостей аналізу дослідницької проблеми є математичне або комп'ютерно-інтегроване моделювання на основі чисельних методів розрахунків.

На надійність поршня ДВЗ, за певних умов експлуатації, впливає структура матеріалу, яка варіюється і контролюється на етапах фазового переходу при охолодженні литої деталі, а також формується більшість найважливіших властивостей поршня. Недостатність експериментальних і розрахункових даних про концентрацію напруги в місцях ливарних дефектів призводить до того, що механізм втомного руйнування може увійти у протиріччя з дійсним механізмом накопичення втомного ушкодження в матеріалі.

Аналіз сучасних технологій комп'ютерно-інтегрованого проектування литих поршнів ДВЗ показав, що достатня увага приділяється оцінці ливарних дефектів (газоусадкової пористості) в поршнях ДВЗ, зокрема поршнях з алюмінієвих сплавів, проте потребує подальших досліджень питання оцінки впливу їх розмірів і характерних місць розташування на міцнісну надійність.

**У другому розділі** представлено метод визначення місць розташування і розмірів дефектів (газоусадкової пористості) в литому поршні ДВЗ з використанням комп'ютерно-інтегрованого моделювання теплових і гідродинамічних процесів лиття.

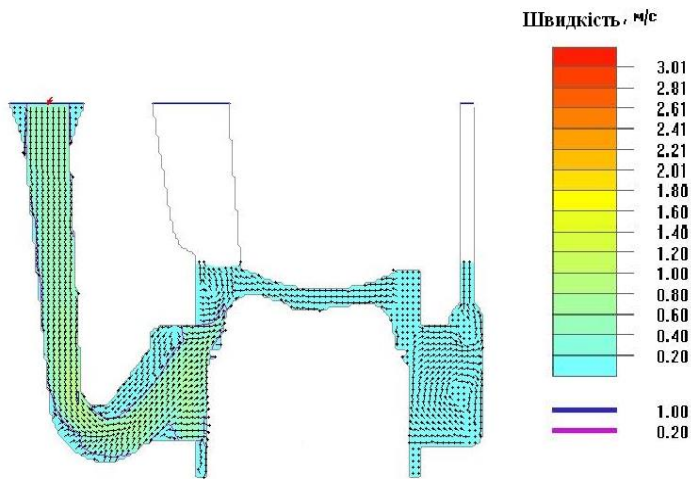


Рис. 1. Загальний вигляд заповнення форми розплавом

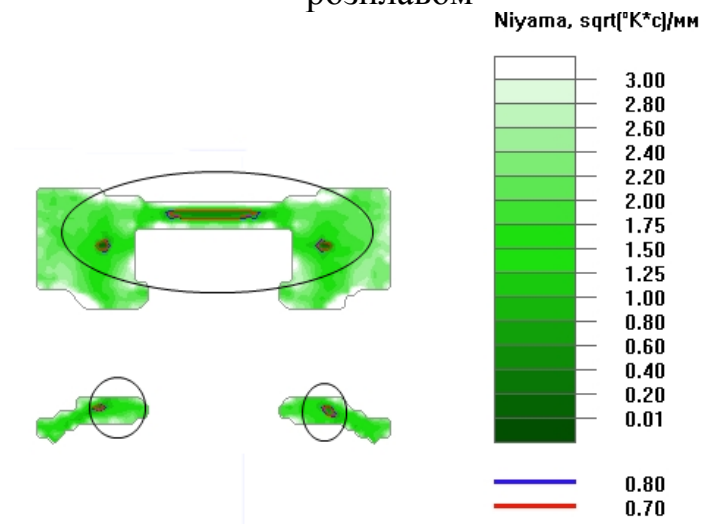


Рис. 2. Місця розташування газоусадкових дефектів згідно з критерієм Niyama

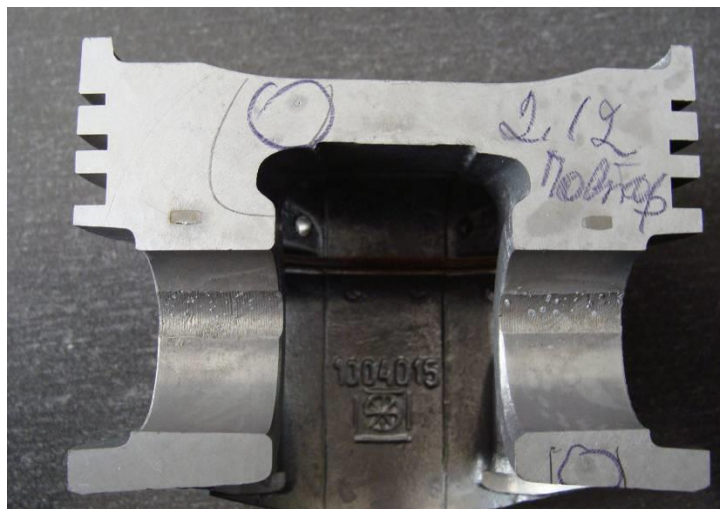


Рис. 3. Розташування газоусадкових дефектів в тілі литого поршня

Моделювання теплових і гідродинамічних процесів виробництва литих поршнів ДВЗ проводилось з використанням інтегрованої комп'ютерної системи (ІКС) LVM Flow 2.91.

*На першому етапі* визначені граничні умови системи *виливок-форма-навколишнє середовище*, а також уточнені математичні моделі, на основі яких проводилося моделювання цих процесів.

*На другому етапі* розроблено 3D - моделі вилівка на базі поршня ВАЗ 21083-1004015 з технологічною ливниковою системою.

*На третьому етапі* створено скінченно - різнице-ву модель поршня з ливниковою системою і металевою формою за допомогою вбудованого в ІКС LVM Flow модуля 3D - імпорту. При аналізі результатів моделювання виявлено характер заповнення форми розплавом (рис. 1) і отримані значення швидкості заповнення для кожного елементу ливникової системи та місця виникнення газоусадкових дефектів, виражених в ІКС LVM Flow критерієм Niyama. Цей критерій використовується для прогнозування газоусадкової пористості, досить великої для виявлення методом радіографічного тестування. Місця розташування дефектів представлені на рис. 2.

В результаті експериментальних досліджень литих поршнів ДВЗ отримані зображення газоусадкових дефектів в різних масивах деталі поршня ВАЗ 21083-1004015 (рис. 3). Спільне рішення завдань комп'ютерно-інтегрованого моделювання і експериментального дослідження на виробництві дало змогу як найточніше спрогнозувати утворення газоусадкових дефектів поршнів ДВЗ.

Згідно з методом визначення місць розташування і розмірів дефектів в литому поршні ДВЗ проведено моделювання і досліджений процес спрямованості кристалізації поршня у формі, виявлені дефекти в різних частинах деталі. Результати моделювання верифіковані за допомогою експериментальних досліджень у виробництві.

За отриманими результатами сформульовані рекомендації для внесення газоусадкових дефектів в 3D-модель поршня і скореговані граничні умови для розрахунку теплового і напружено-деформованого стану для подальшого аналізу впливу дефектів на міцнісну надійність поршнів ДВЗ.

**У третьому розділі** представлено вдосконалений розрахунковий аналіз міцнісної надійності поршнів ДВЗ з газоусадковими дефектами на основі розрахунку втомної міцності, а також результати моделювання теплового і напружено-деформованого стану «щільного» поршня.

Міцнісна надійність литих поршнів ДВЗ визначається, як показник стану конструкції, що забезпечує з високою мірою вірогідності збереження її цілісності і відсутність ушкоджень, здатних спровокувати руйнування. Аналіз міцнісної надійності поршнів ДВЗ з газоусадковими дефектами складається з наступних етапів:

- створення універсальної чисельної моделі спільної термомеханічної дії на литий поршень ДВЗ з дислокованими дефектами газоусадкового характеру;
- моделювання термомеханічного навантаження «щільного» поршня на різних режимах роботи двигуна без урахування дефектів газоусадкового характеру, з використанням розрахункового програмного комплексу ANSYS;
- аналіз полів температур і напружень «щільного» поршня;
- створення геометричної твердотільної і скінченно-елементної моделі поршня з дислокованими ливарними дефектами;
- удосконалення і застосування методики розрахунку поршнів з газоусадковими дефектами на втомну міцність від дії циклічних навантажень при роботі ДВЗ;
- проведення чисельного експерименту з використанням результатів моделювання НДС поршня для визначення найбільш небезпечних зон дислокації дефектів і поєднання їх розмірів.

Варіативне рівняння напруження зрушення і збереження теплового потоку виражається в узагальнених рівняннях термопружності і представлено в матричному виді для скінчених елементів



$$\begin{bmatrix} [M] & [0] \\ [0] & [0] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u} \\ \ddot{T} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [C] & [0] \\ [C^{tu}] & [C^t] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u} \\ \dot{T} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} [K] & [K^{ut}] \\ [0] & [K^t] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ T \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ Q \end{Bmatrix}, \quad (1)$$

де  $[M]$  – матриця мас;  $\{u\}$  – вектор переміщень;  $\{T\}$  – вектор вузлових температур;  $[C]$  – матриця затухання;  $[C^t]$  – матриця теплоємностей;  $[C^{tu}]$  – матриця термопружного затухання;  $[K]$  – матриця жорсткостей;  $[K^t]$  – матриця теплопровідності;  $[K^{ut}]$  – матриця термопружної жорсткості;  $\{F\}$  – сума сил і векторів тиску;  $\{Q\}$  – сума теплового навантаження поверхні конвекції і векторів теплових потоків.

Матриця мас  $[M]$  і матриця жорсткості знаходиться із рівняння рівноваги для одного скінченного елемента

$$([K_e] + [K_e]^f) \{u\} - \{F_e\}^{th} = [M_e] \{u''\} + \{F_e\}^{pr} + \{F_e\}^{nd}, \quad (2)$$

де  $[K_e]$  – матриця жорсткості елемента;  $[K_e]^f$  – матриця жорсткості основи;  $\{F_e\}^{th}$  – вектор теплових навантажень для елемента;  $[M_e]$  – матриця мас елемента;  $\{u''\}$  – вектор прискорення (аналогічний силі тяжіння);  $\{F_e\}^{pr}$  – вектор тиску для елемента;  $\{F_e\}^{nd}$  – вектор сили для елемента.

Матриця затухання  $[C]$  використовується в розрахунках змінних термомеханічних навантажень конструкції поршня з газоусадковими дефектами і знаходиться із рівняння

$$[C] = \alpha[M] + (\beta + \beta_c)[K] + \sum_{k=1}^{N_e} \left[ \left( \beta_j^m + \frac{2}{\Omega} \beta_j^\xi \right) [K_j] \right] + \sum_{k=1}^{N_e} [C_k] + [C_\xi], \quad (3)$$

де  $\alpha$  – множник матриці мас;  $\beta$  – множник матриці жорсткості;  $\beta_c$  – змінна матриці множника;  $\beta_j^m$  – множник матриці жорсткості для матеріалу  $j$ ;  $\beta_j^\xi$  – постійний коефіцієнт матриці жорсткості для матеріалу  $j$ ;  $\Omega$  – кругова частота збудження;  $[K_j]$  – структурна матриця жорсткості на основі матеріалу  $j$ ;  $[C_k]$  – матриця затухання для елемента;  $[C_\xi]$  – матриця частотно-залежного затухання;  $N_e$  – номер термопружного елемента.

Матриця теплоємностей  $[C^t]$  знаходиться з рівняння

$$\begin{aligned} & \left[ C_e^t \right] \cdot \{ \dot{T}_e \} + \left( \left[ K_e^{tm} \right] + \left[ K_e^{tb} \right] + \left[ K_e^{tc} \right] \right) \cdot \{ T_e \} = \\ & = \{ Q_e \} + \{ Q_e^c \} + \{ Q_e^g \}, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $\left[ C_e^t \right]$  – матриця питомої теплоємності елемента (термічне демпфування);  
 $\left[ K_e^{tm} \right]$  – матриця провідності від масового переносу для елемента;  
 $\left[ K_e^{tb} \right]$  – матриця дифузійної провідності для елемента;  $\left[ K_e^{tc} \right]$  – матриця конвекційної провідності для елемента;  $\{ Q_e^f \}$  – вектор масового потоку для елемента;  
 $\{ Q_e^c \}$  – вектор конвекційного теплового потоку на поверхні елемента;  
 $\{ Q_e^g \}$  – навантаження на елемент від генерації тепла;  $\{ T \}$  – вектор температур елемента.

Матриця термопружності затухання  $\left[ C^{tu} \right]$  знаходиться з рівняння

$$\left[ C^{tu} \right] = -T_0 \left[ K^{ut} \right]^T, \quad (5)$$

де  $\left[ K^{ut} \right]$  – матриця термопружності жорсткості.

Матриця термопружності жорсткості  $\left[ K^{ut} \right]$  описується рівнянням

$$\left[ K^{ut} \right] = - \int_{vol} \left[ B \right]^T \{ \beta \}_{\{N\}}^T d(vol), \quad (6)$$

де  $\left[ B \right]$  – матриця деформації-переміщення;  $\{ N \}$  – функція форми елемента.

Матриця теплопровідності  $\left[ K^t \right]$  описується рівнянням

$$\left[ K^t \right] = \left[ K^{tb} \right] + \left[ K^{tc} \right], \quad (7)$$

де  $\left[ K^{tb} \right]$  – матриця теплопровідності матеріалу;  $\left[ K^{tc} \right]$  – матриця конвекційної теплопровідності на поверхні елемента.

Сума сил і векторів тиску  $\{ F \}$  знаходиться із рівняння

$$\{F\} = \{F^{nd}\} + \{F^{Pr}\} + \{F^{ac}\}, \quad (8)$$

де  $\{F^{nd}\}$  – вектор вузлових сил;  $\{F^{Pr}\}$  – вектор тиску;  $\{F^{ac}\}$  – вектор сил з урахуванням прискорення.

Сумарне навантаження на елемент від генерації тепла, конвекції на поверхні елементів і векторів теплових потоків  $\{Q\}$  описується рівнянням:

$$\{Q\} = \{Q^{nd}\} + \{Q^g\} + \{Q^c\}, \quad (9)$$

де  $\{Q^{nd}\}$  – вектор вузлових теплових потоків;  $\{Q^c\}$  – вектор теплового потоку поверхні конвекції;  $\{Q^g\}$  – вектор теплового навантаження.

Як критерій міцності для моделювання в середовищі ANSYS прийнятий критерій найбільших дотичних напружень згідно III теорії міцності  $[\tau_{max}]$ . В якості навантажень, що діють на поршень, узятий одиничний цикл, що відповідає стаціонарному режиму роботи двигуна. Механічне навантаження поршня, яке викликане силами тиску газів в циліндрі, виконувалося для чотирьох положень поршня, при яких значення тиску в циліндрі становили: 0.1, 1.6, 6.5, 1 МПа. В якості термічного стану прийнятий стаціонарний температурний стан на режимі номінальної потужності. Для досліджуваного поршня ВАЗ 21083-1004015, створена скінченно-елементна модель, що складається з 599 427 елементів і 962569 вузлів (рис. 4). Граничні умови для моделювання теплового стану поршня, застосовані згідно з сучасними рекомендаціями, отримані в результаті термометрування тонкостінних поршнів. Для закріплення використовувалися кромки, що імітують реальну взаємодію поршня з поршневим пальцем і стінкою циліндрів, з обмеженням обертання навколо осі отвору, радіального і вертикального переміщення (рис. 5).

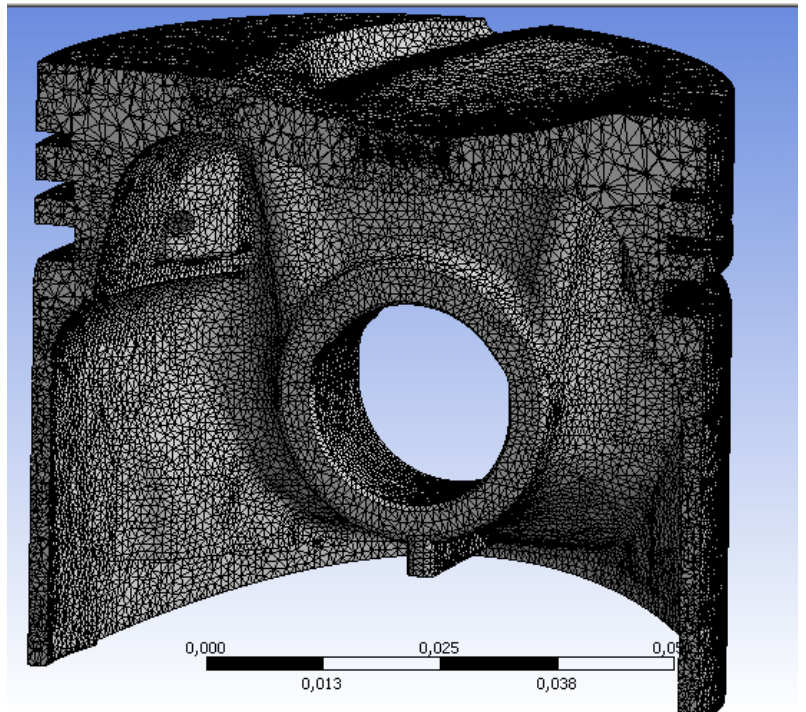


Рис. 4. Скінченно-елементна модель поршня ВАЗ 21083-1004015

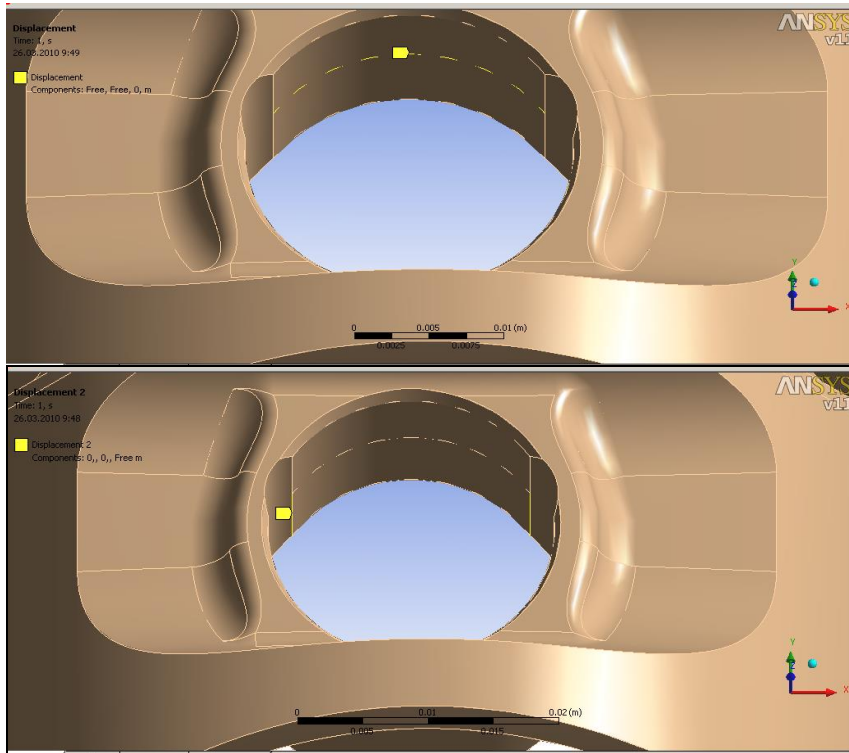


Рис. 5. Закріплення поршня для моделювання

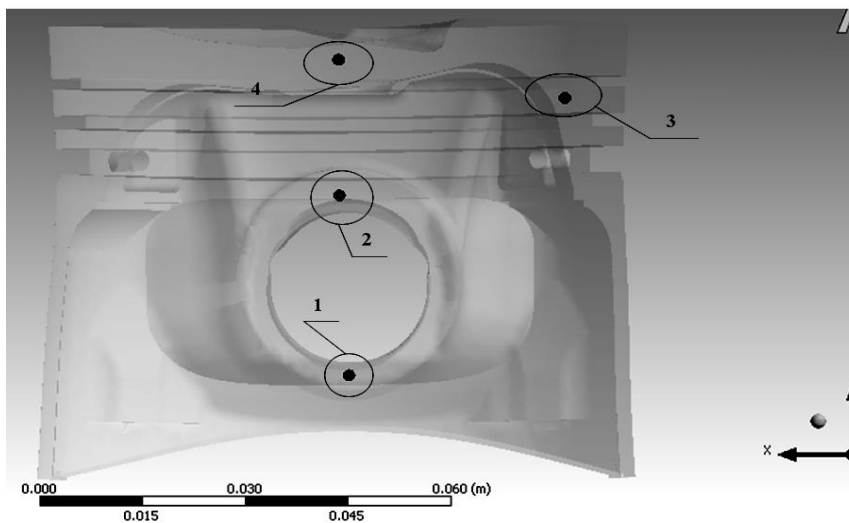


Рис. 6. Місця розташування газоусадкових дефектів в тілі поршня

шкі над пальцевим отвором – 2, в перетині скруглення юбки поршня до днища – 3 і в тілі днища поршня під камерою згоряння (для поршнів з камерою згоряння) – 4 (рис. 6).

Відомо, що особливістю втомного процесу є його локальність. Локальна зона, де може утворитися втомна тріщина, працює в умовах, відмінних від основної частині масивів поршня.

У розрахунковій моделі визначено теоретичне граничне максимальне напруження циклу (межа витривалості для асиметричного циклу) для кожного дефекту

Згідно з принципом Сен-Венана отримані результати значень напружень і деформацій в поршні при застосованому виді закріплення зіставлені з напруженнями при закріпленні типу палець-поршень. На етапі проектування поршня для виявлення найбільш напружених масивів проводилося моделювання сумісного термомеханічного навантаження «щільного» поршня і аналіз його НДС.

Дефекти, а саме газоусадкові пори, введені в скінченно-елементну модель поршня згідно з результатами експериментальних досліджень деталей, виконаних на виробництві, а також з результатами моделювання в ІКС LVMFlow.

Значення напружень на поверхні дефектів (модельної сфери) контролювалися в точках максимальних їх значень, а саме в місцях тіла бобишки під пальцевим отвором – 1, в тілі бобишки

$$\tau_{max\,np.} = \tau_{-1} + (1 - \psi_{\tau}) \times \tau_m, \quad (10)$$

де  $\tau_{-1}$  - межа витривалості матеріалу поршня (АК12М2МгН, ДСТУ 2839-94 (ГОСТ 1583-93)) при симетричному циклі навантаження за  $10^7$  циклів;  $\tau_m$  – середнє напруження циклу;  $\psi_{\tau}$  – коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу.

Для теоретичного розрахунку коефіцієнта чутливості матеріалу до асиметрії навантаження  $\psi_{\tau}$  використано вираз за Гудманом

$$\psi_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\tau_{\sigma}}, \quad (11)$$

де  $\tau_{\sigma}$  – межа міцності матеріалу поршня.

Вираження для визначення коефіцієнтів запасу міцності кожного досліджуваного дислокованого дефекту представлено у вигляді

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\tau_a \times k_{\tau} + \psi_{\tau} \times \tau_m}, \quad (12)$$

де  $\tau_a$  – амплітуда напружень циклу;  $k_{\tau}$  – коефіцієнт концентрації напружень.

Для вдосконалення методики аналізу міцнісної надійності поршнів ДВЗ газоусадковими дефектами на основі розрахунку втомної міцності створена математична модель з варіативними рівняннями для аналізу спільної термомеханічної дії на поршень. На підставі результатів аналізу термомеханічного навантаження «щільного» поршня отримані рекомендації для створення скінченно-елементної моделі поршня з дислокованими дефектами газоусадкового характеру, а також визначені точки контролю значень в дефектах.

**У четвертому розділі** представлені результати моделювання НДС в місцях розташування газоусадкових дефектів при комплексному багатоцикловому термомеханічному навантаженні поршня ВАЗ 21083-1004015, а також виконаний розрахунок втомної міцності і повзучості в рамках чисельного експерименту.

Дослідження впливу розмірів газоусадкових дефектів, що виникають при виготовленні поршнів, є важливою частиною при оцінці міцнісної надійності поршня. У технічних вимогах існуючої конструкторської документації і технічних умовах до литих поршнів для двигунів примусовим запалюванням передбачається не допускати деталі, які мають більше трьох-п'яти (залежно від моделі поршня) газоусадкових пор на заданих поверхнях і розміри цих дефектів не повинні перевищувати 0,1 мм, проте, не наведено вплив цих дефектів на міцнісну надійність поршня. Для оцінки впливу розмірів дефектів в місцях їх розташування на величину полів температур і напружень, при термомеханічному навантаженні поршня, виконаний чисельний експеримент з використанням результатів моделювання в ANSYS.

У плані виконаного дворівневого повнофакторного  $2^4$  експерименту мінімальне значення дефекту позначалося «-1», а максимальне «+1». Для натурального

виразу рівнів експерименту використовувалися два критичні діаметри сфероїдальних дефектів – мінімальний  $\varnothing 0,3$  мм і максимальний  $\varnothing 1,3$  мм. Для кожного контрольованого кроку експерименту проводився розрахунок втомної міцності поршня в місцях розташування ливарних дефектів по граничним напруженням  $\tau_{max пр.}$  (рис. 7) та коефіцієнту запасу міцності  $n_{\tau}$ .

З'ясовано, що найбільші напруження виникають при поєднанні номінальних розмірів дефектів, відповідно 1, 5, 9 і 13 кроку плану експерименту. Найменше значення коефіцієнта запасу міцності  $n_{\tau1}=3,9$  відповідало 9 кроку експерименту в зоні поверхні дефекту *XI*. Значення коефіцієнта запасу міцності відповідає умовам міцнісної надійності при  $|n|=2-3$ , з урахуванням недостатності експериментальних даних і можливої нестабільності технології виготовлення матеріалу.

Результати аналізу стаціонарного термомеханічного навантаження поршня є недостатніми для повної оцінки міцнісної надійності, тому проведено розрахункове дослідження термопружних напружень поршня в місцях розташування газоусадкових дефектів при перехідному процесі. В якості модельного

перехідного процесу був прийнятий процес миттєвого накидання навантаження від стану холостого ходу непрогрітого ДВЗ до режиму номінальної потужності. Комплексне термомеханічне навантаження поршня для цього перехідного процесу складалося з високочастотної зміни температур і термопружних напружень у поверхневому шарі камери згоряння, а також високочастотних змін напружень, викликаних силами тиску газу в циліндрі протягом розрахункового циклу. Найбільші напруження виникають при поєднанні номінальних розмірів дефектів, що відповідають 5 кроку плану експерименту. Найменше значення коефіцієнта запасу міцності  $n_{\tau1}=3,8$  в зоні поверхні дефекту *XI*. Отримані коефіцієнти запасу міцності перевищували нормативні.

Також врахована повзучість в місцях розташування дефектів. Введення ливарних дефектів у 3D-модель литого поршня оцінювалося в точках 2, 5 і 7 (рис. 8).

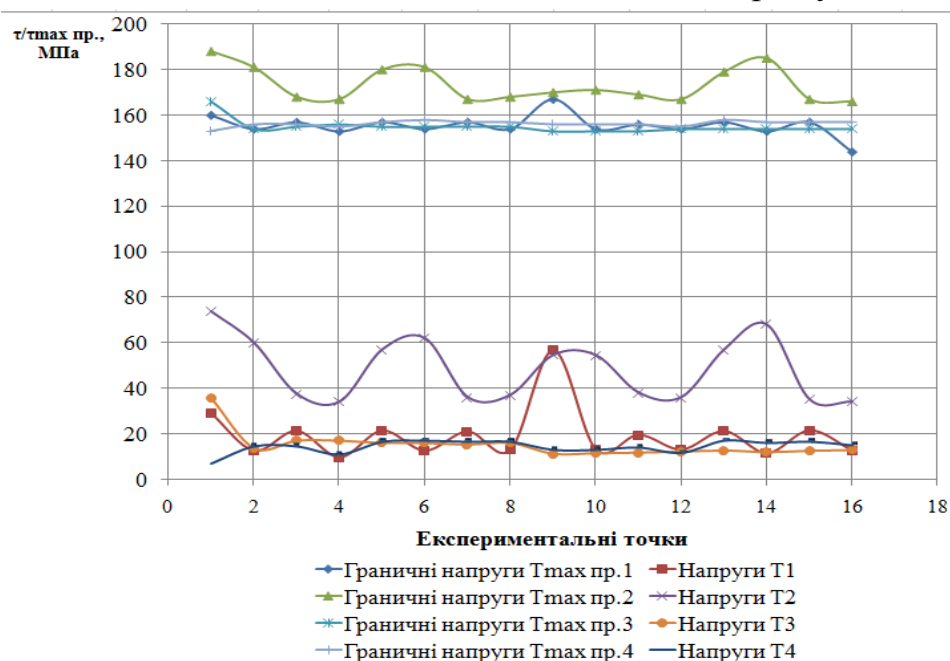


Рис. 7. Значення розрахункових і граничних напружень для кожного кроку експерименту



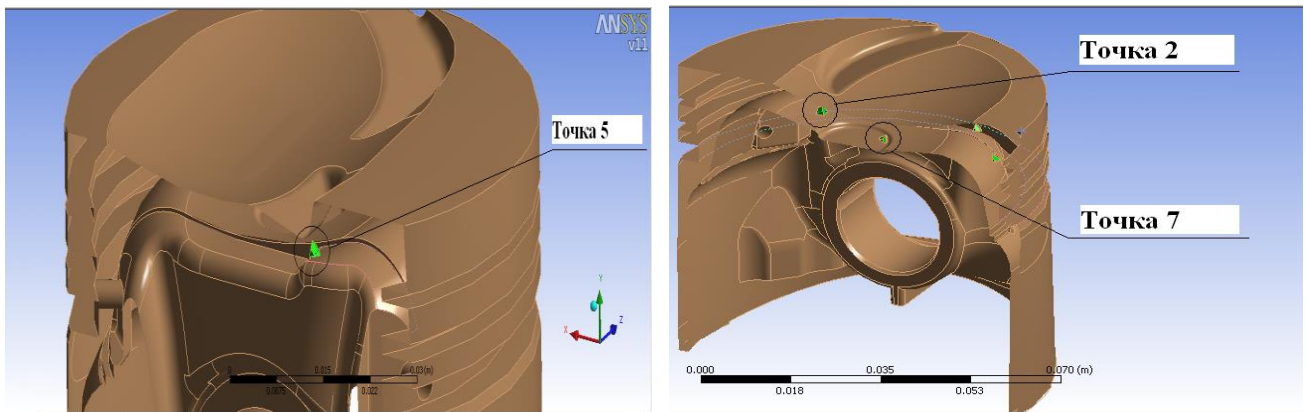


Рис. 8. 3D-модель поршня з характерними зонами локальної напруженості

Для дефектів в розглянутих точках поверхні камери згоряння значення напружень становлять: для точки 2  $\tau_{max}=41$  МПа; для точки 5  $\tau_{max}=50$  МПа; для точки 7  $\tau_{max}=46$  МПа. Всі напруження в контрольованих точках поверхонь газоусадкових дефектів знаходяться нижче межі текучості і вище порогу повзучості для досліджуваного поршневого сплаву при відповідних температурах.

Таким чином, в результаті аналізу впливу газоусадкових дефектів на міцнісну надійність литого поршня ДВЗ при спільному термомеханічному навантаженні на різних режимах роботи двигуна розраховані значення коефіцієнтів запасу міцності і граничні максимальні напруження. Доведено, що коефіцієнти запасу міцності перевищують задані у технічних вимогах на кожному кроці експерименту в досліджуваних межах розмірів дефектів від 0,3 до 1,3 мм.

**В п'ятому розділі** наведено результати використання рідж-аналізу для визначення залежності напружено-деформованого стану поршня в місцях розташування дефектів від їх розмірів, а також наведені результати досліджень, які впроваджені у виробництво.

Згідно з планом експерименту для визначення розкиду розмірів дефектів у залежності від їх номінальних експериментальних розмірів у досліджуваних межах розмірів газоусадкових дефектів  $\varnothing 0,3 \div 1,3$  мм використовувався метод рідж-аналізу. Даний метод полягає в побудові поверхні відгуку в координатах факторного простору ( $X1 \dots X4$ ), що представляє собою залежність напруженого стану в місцях розташування від розміру дефектів. При повторенні дій з покроковою зміною поверхні відгуку в зазначених межах визначалися точки субмаксимуму і субмінімуму. В результаті з'єднання декількох субоптимальних точок виходять криві, які пов'язані точками злиття або роз'єднання, ці криві називаються лініями гребнів.

Кожному зі знайдених натуральних значень дефектів, які стосуються певної моделі, відповідають максимальні і мінімальні значення напружень ( $y$ ). Найбільший натуральний розмір дефекту  $\varnothing 1,28$  мм відповідає напрузі в місці його дислокації 56 МПа, а мінімальний розмір дефекту 0,28 мм відповідає напрузі 6,5 МПа. Використання на практиці результатів дослідження дає можливість визначити величину напружень в місцях дислокації дефектів залежно від їх розмірів у зазначених межах без трудомістких розрахунків.

У результаті статистичних досліджень на ПАТ «АВТРАМАТ» з'ясувалося, що протягом року при виробництві литих поршнів ВАЗ 21083-1004015 зафіксовано значну кількість деталей з газоусадковими дефектами. Для досліджуваного литого поршня допустимий відсоток технологічного браку становить 5,6%.

Проведені ресурсні дослідження поршнів на моторному стенді підтвердили розрахункові результати аналізу міцнісної надійності з урахуванням газоусадкових дефектів.

Застосування на підприємстві технології комп'ютерно-інтегрованого проектування поршнів ДВЗ з урахуванням ливарних дефектів дало змогу скоротити втрати на браковані деталі.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні поставлена і вирішена науково-практична задача обґрунтування та створення технології комп'ютерно-інтегрованого проектування поршнів ДВЗ із комплексним застосуванням моделювання теплових, гідродинамічних параметрів лиття, розрахунком напружено-деформованого стану поршнів та урахуванням впливу ливарних дефектів на міцнісну надійність. Розв'язання цієї задачі дає можливість підняти технічний рівень і скоротити час проектування та знизити витрати на виробництво ДВЗ.

У дисертаційному дослідженні отримано такі основні результати:

1. На основі аналізу сучасних технологій проектування, методик розрахунку міцнісної надійності, методів моделювання процесів виробництва литих поршнів запропоновано технологію комп'ютерно-інтегрованого проектування литих поршнів ДВЗ з безперервною конструкторсько-технологічною взаємодією, яка є потужним інструментом для розробки нових деталей і модернізації існуючих.

2. Створено універсальну технологію комплексного комп'ютерно-інтегрованого проектування поршнів ДВЗ із застосуванням моделювання параметрів лиття та розрахунком напружено-деформованого стану, яка дозволила провести оцінку міцнісної надійності поршнів з урахуванням ливарних дефектів.

3. Розроблено метод комплексного визначення місць розташування і розмірів газоусадкових дефектів у литому поршні із сумісним використанням комп'ютерно-інтегрованого моделювання та експериментальних досліджень у виробництві. Уточнені граничні умови для розрахунку теплового і напружено-деформованого стану поршня ВАЗ 21083-1004015 з урахуванням знайдених розмірів дефектів  $\varnothing 0,3 \div 1,3$  мм.

4. Створено чисельну модель спільної термомеханічної дії на литий поршень ДВЗ для розрахунку напружено-деформованого стану в місцях розташування дефектів газоусадкового характеру. Удосконалено розрахунковий аналіз міцнісної надійності поршнів за рахунок урахування ливарних дефектів в місцях їх розташування.

5. Розроблена універсальна 3D-модель поршня ДВЗ з дефектами газоусадкового характеру, виконано розрахунковий експеримент обробки результатів мо-



делювання термомеханічного навантаження поршня з дислокованими дефектами на різних режимах роботи двигуна. Найменше значення з отриманих коефіцієнтів запасу міцності в зоні поверхні дефекту у бобищі під пальцьовим отвором, яке становило  $n_{\tau l} = 3,8$  та перевищувало нормативні значення.

6. За допомогою рідж-аналізу математичних моделей чисельного експерименту визначено залежності напружено-деформованого стану в місцях розташування ливарних дефектів від їх розмірів. Розроблені та впроваджені у виробництво рекомендації щодо комп'ютерно-інтегрованого проектування поршнів ДВЗ з урахуванням залежності значень виникаючих напружень від розмірів та місць розташування дефектів у поршнях ДВЗ.

7. Запропонована комплексна технологія комп'ютерно-інтегрованого проектування і методика аналізу міцнісної надійності поршнів ДВЗ з газоусадковими дефектами дозволила скоротити втрати від бракованих поршнів моделі ВАЗ 21083-1004015 на 6447 штук на рік. Результати дисертації практично застосовані і використовуються при проектуванні та підготовці виробництва литих поршнів на ПАТ «АВТРАМАТ» (для 19 моделей поршнів до двигунів із примусовим запалюванням).

8. Основні положення дисертаційного дослідження увійшли складовою частиною в процедури «Проектування, розробка нових виробів і підготовка виробництва», «Виробництво виливків поршнів» системи менеджменту якості ISO 9001, 9002 підприємства ПАТ «АВТРАМАТ», а також впроваджені у КП «ХКБД», м. Харків та ТОВ «Українська ливарна компанія» (АТ «УПЕК»), м. Харків.

9. Результати дисертаційного дослідження впроваджені у навчальний процес кафедр двигунів внутрішнього згоряння та ливарного виробництва НТУ «ХП».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Алёхин В.И. Совершенствование литниковых систем для отливок цилиндрического типа из алюминиевых сплавов / В.И. Алёхин, Б.П. Таран, С.Б. Таран // Вісник Національного технічного університету «ХП». – 2006. – Вип.10. – С. 104 – 107.

*Здобувач виконав аналіз існуючих конструкцій ливникових систем та запропонував нові ливникові системи для виробництва алюмінієвих поршнів ДВЗ на основі комп'ютерно-інтегрованого моделювання.*

2. Алёхин В.И. Компьютерно-интегрированное моделирование литейных процессов в блоке цилиндров DAEWOO SENS / В.И. Алёхин, А.П. Марченко, О.В. Акимов // Вісник Національного технічного університету «ХП». – 2008. – Вип.2. – С. 3 – 7.

*Здобувач запропонував дослідження ливарних процесів в литому блоці циліндрів з використанням комп'ютерного інструментарію з метою виявлення місць можливої появи дефектів усадкового характеру.*

3. Алёхин В.И. Научные методы модернизации технологии изготовления отливок блок-картера цилиндров DAEWOO SENS / В.И. Алёхин, А.П. Марченко, О.В. Акимов, А.А. Ребик // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2008. – Вип.14. – С. 3 – 6.

*Запропоновано наукові методи модернізації технології виготовлення виливків блок-картеру циліндрів DAEWOO SENS для підвищення його якості та експлуатаційних властивостей.*

4. Алёхин В.И. Научные методы компьютерно-интегрированного проектирования блок-картера двигателя DAEWOO SENS / В.И. Алёхин, А.П. Марченко, О.В. Акимов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – №2, – С. 77 – 82.

*Здобувач виконав моделювання процесу лиття та модернізував ливниково-живильну систему, застосування якої зменшило ймовірність появи дефектів усадкового характеру.*

5. Алёхин В.И. Компьютерно-интегрированное моделирование литейных процессов в автомобильных поршнях на основе конструкторско – технологической методики проектирования деталей ДВС / В.И. Алёхин, А.В. Белогуб, А.П. Марченко, О.В. Акимов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – №2. – С.101 – 104.

*Здобувачем проведено розрахунки литого поршня ДВЗ за результатами яких виявлені зони ливарних дефектів та розроблені рекомендації щодо модернізації технології виготовлення.*

6. Алёхин В.И. Моделирование теплового и напряженно-деформированного состояния поршня с учетом дислоцированных дефектов усадочного характера / В.И. Алёхин, О.В. Акимов, А.В. Белогуб // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2010. – №19. – С. 12 – 18.

*Здобувачем проведено моделювання теплового і напружено-деформованого стану поршня з урахуванням усадкових дефектів, дислокованих в твердотільну модель.*

7. Алёхин В.И. Моделирование литейных процессов при изготовлении автомобильных поршней / В.И. Алёхин, А.В. Белогуб, А.П. Марченко, О.В. Акимов // Цветные металлы. – Москва. – 2010. – №8. – С. 81 – 83.

*Здобувачем проведено моделювання та дослідження процесів кристалізації у виливках автомобільних поршнів із алюмінієвих сплавів.*

8. Алёхин В.И. Методология расчета детали поршня на прочность в местах дислокации дефектов усадочного характера / В.И. Алёхин, А.В. Белогуб, О.В. Акимов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №2. – С. 62 – 65.

*Здобувачем проведені дослідження, які присвячені проблемі забезпечення надійної роботи та технічному вдосконаленню литих поршнів ДВЗ з примусовим запалюванням.*

9. Алёхин В.И. Компьютерное моделирование процессов при производстве литых деталей двигателя / В.И. Алёхин, О.В. Акимов, А.П. Марченко // Литейное производство. – Москва. – 2010. – №9. – С. 31-33.

*Здобувачем проведена модернізація технології виготовлення литих поршнів і блок-картерів ДВЗ з примусовим запалюванням.*

10. Алёхин В.И. Моделирование мест проявления дефектов усадочного характера при проектировании литых деталей ДВС / В.И. Алёхин, А.В. Белогуб, А.П. Марченко, О.В. Акимов // *Металл и литье Украины*. – 2010. – №12. – С. 27 – 30.

*Здобувачем проведено моделювання ливарних процесів виробництва литих поршнів і блок-картерів ДВЗ з примусовим запалюванням, сформовані рекомендації для модернізації конструкції деталей.*

11. Алёхин В.И. Расчет влияния литейных дефектов усадочного характера на прочность поршня ДВС / В.И. Алёхин, А.В. Белогуб, О.В. Акимов // *Цветные металлы*. – Москва. – 2011. – №6. – С. 72 – 74.

*Здобувачем проведені дослідження зі знаходження місць дислокації усадкових дефектів у тілі поршня, здійснено розрахунок НДС поршня та розроблена методика розрахунку на втомну міцність з урахуванням усадкових дефектів.*

12. Алёхин В.И. Исследование влияния размеров литейных дефектов на напряженно-деформированное состояние поршня / В.И. Алёхин, А.В. Белогуб, О.В. Акимов // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2011. – №2. – С. 99–103.

*Здобувачем виконано дослідження по впливу розмірів ливарних дефектів на напружено-деформований стан із використанням методу планування експерименту.*

13. Алёхин В.И. Анализ влияния технологических дефектов на прочность литых тонкостенных поршней ДВС / В.И. Алёхин, А.В. Белогуб, О.В. Акимов // *Двигатели внутреннего сгорания*. – 2012. – №1. – С. 96 – 99.

*Здобувачем зроблено аналіз ефективності застосування в умовах виробництва методики розрахунку впливу ливарних дефектів на міцнісну надійність поршнів ДВЗ.*

14. Альохін В.І. Наукові основи конструкторсько-технологічного проектування литих деталей поршнів і блок-картерів ДВЗ / В.І. Альохін, А.П. Марченко, О.В. Акімов // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XVII міжнар. науково-практич. конф., 20-22 травня 2009 р.:* – тези доп. – Х., 2009.

*Здобувач запропонував дослідження ливарних процесів в литому поршині з метою виявлення місць можливої появи дефектів усадкового характеру.*

15. Альохін В.І. Моделювання теплового і напружено-деформованого стану литої деталі поршня з урахуванням дислокованих дефектів усадкового характеру / В.І. Альохін, О.В. Акімов // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XVIII міжнар. науково-практич. конф., 12-14 травня 2010 р.:* – тези доп. – Х., 2010.

*Здобувачем зроблено дослідження по забезпеченню якості литих поршнів в рамках методики конструкторсько-технологічного проектування деталей ДВЗ.*

16. Алёхин В.И. Влияние размеров усадочных литейных дефектов на НДС поршня ВАЗ 21083 / В.И. Алёхин, О.В. Акимов // *Литье-2011: VI междунар. научн.-практич. конф., 17-21 мая 2011 г.:* сб. научн. тр. – Запоріжжя, 2011.

*Здобувачем досліджено забезпечення надійної роботи та технічного вдосконалення литих деталей ДВЗ.*

## АНОТАЦІЇ

**Альохін В.І. Комп'ютерно-інтегроване проектування поршнів ДВЗ з урахуванням впливу ливарних дефектів на міцнісну надійність.** – 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, 2013.

Дисертаційна робота спрямована на розв'язання задачі створення технології комп'ютерно-інтегрованого проектування поршнів ДВЗ із сумісним інженерним моделюванням параметрів лиття та розрахунком НДС, а також урахування впливу ливарних дефектів на міцнісну надійність поршнів.

За допомогою сумісного використання комп'ютерно-інтегрованого моделювання та експериментальних досліджень на виробництві вперше запропонована і розроблена методика комплексного визначення місць розташування і розмірів газоусадкових дефектів в литому поршні. Створена універсальна чисельна модель спільного термомеханічного впливу на литий поршень ДВЗ, використання якої для моделювання дало змогу провести розрахунок напружено-деформованого стану поршня в місцях розташування дефектів газоусадкового характеру на різних режимах роботи двигуна. Виконано експеримент для обробки результатів моделювання термомеханічного навантаження універсальної 3D - моделі поршня ДВЗ з дефектами газоусадкового характеру. Проведено аналіз чисельних значень напружень в місцях розташування газоусадкових дефектів розмірами від 0,3 до 1,3 мм на основі вдосконаленої методики розрахунку втомної міцності в місцях їх розташування. Розроблені та впроваджені у виробництво практичні рекомендації щодо комп'ютерно-інтегрованого проектування і розрахунку на втомну міцність литих поршнів ДВЗ.

**Ключові слова:** литий поршень ДВЗ, міцність, надійність, комп'ютерно-інтегроване проектування, технологія виробництва поршнів, ливарні дефекти.

**Алѣхин В.И. Компьютерно-интегрированное проектирование поршней ДВС с учетом влияния литейных дефектов на прочностную надежность.** – 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, 2013.

Диссертационная работа направлена на решение задачи создания технологии компьютерно-интегрированного проектирования поршней ДВС с совместным инженерным моделированием параметров литья и расчетом НДС, а также учета влияния литейных дефектов на прочностную надежность поршней.

Предложен и разработан метод комплексного определения мест расположения и размеров газоусадочных дефектов в литом поршне с совместным использованием компьютерно-интегрированного моделирования и эксперимен-

тальных исследований на производстве. Изготовлена опытная партия поршней ВАЗ 21083-1004015 и выполнены экспериментальные исследования в условиях производства по верификации результатов моделирования.

На основании результатов моделирования термомеханического нагружения «плотного» поршня, представлены рекомендации по созданию конечно-элементной модели поршня с дефектами газоусадочного характера. Усовершенствована методика анализа прочностной надежности поршней ДВС на основании расчета на усталостную прочность относительно мест расположения газоусадочных дефектов. Создана универсальная численная модель совместного термомеханического воздействия на литой поршень ДВС.

Спланирован и выполнен эксперимент для обработки результатов моделирования термомеханического нагружения поршня ДВС с дефектами газоусадочного характера. Выполнен анализ численных значений напряжений в местах расположения газоусадочных дефектов на основе усовершенствованной методики расчета усталостной прочности.

Проведено моделирование термомеханического нагружения поршня с дефектами для характерных шагов эксперимента при переходном процессе работы двигателя. В результате моделирования термомеханического нагружения поршня с дефектами для различных режимов работы двигателя по усовершенствованной методике расчета поршней ДВС на усталостную прочность доказано, что коэффициенты запаса прочности превышают нормативные на каждом шаге эксперимента в исследуемых пределах размеров дефектов от 0,3 до 1,3 мм. Для прогнозирования, без трудоемких расчетов, значений возникающих напряжений в зависимости от размеров дефектов поршней в рамках эксперимента использовался метод ридж-анализа математических моделей.

Использование предложенной технологии совместного компьютерно-интегрированного проектирования и анализа прочностной надежности поршней ДВС в местах расположения газоусадочных дефектов позволило сократить потери от бракованных поршней модели ВАЗ 21083-1004015.

Разработаны и внедрены в производство практические рекомендации по компьютерно-интегрированному проектированию и уточнению расчета на усталостную прочность литых поршней ДВС.

**Ключевые слова:** литой поршень ДВС, прочность, надежность, компьютерно-интегрированное проектирование, технология производства поршней, литейные дефекты.

**Alyokhin V.I. Computer-Integrated Design of piston engine takes into account the effect of casting defects on the strength reliability.** – On the rights of a manuscript.

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

Dissertation is focused on the solution of creating a method of computer-integrated design with a compatible piston engine engineering modeling casting pa-

rameters and calculation of stress-strain state, as well as before the effect of casting defects on the strength reliability of pistons.

Established universal numerical model of joint thermomechanical effects on cast piston combustion engines, which use to simulate possible to calculate the stress-strain state of the piston in the locations of defects gas-shrink character in different modes of engine operation. Planned and carried out an experiment for processing simulation results thermomechanical loading universal 3D model of stroke internal combustion engine with defects gas-shrink. The analysis of the numerical values of the stresses in the locations gas-shrink defects based on an improved method of calculating fatigue strength in places where they are based. As a result of this analysis were obtained coefficients of safety that exceeds regulatory every step experiment investigated within the defect size from 0.3 to 1.3 mm, confirming the reliability of strength piston ICE at the locations of defects. Practical recommendations for computer-integrated design and specification based on fatigue strength of cast pistons ICE.

**Keywords:** cast piston ICE, strength, reliability, computer-integrated design, technology of production pistons, casting defects.

A handwritten signature in cursive script, appearing to read "Liu" or "Liu", with a horizontal line underneath.

Відповідальний за випуск к.т.н. Дьомін Д.О.

Підписано до друку 12.04.2013 г. Формат видання 145x215.  
Формат бумаги 60x90/16. Папір – офсетний. Друк – ризографія.  
Об'єм 0,9 авт. арк.. Зам. №40. Тираж 100 прим.

Видання та друк копії-центр «МОДЕЛІСТ»  
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)  
м. Харків, вул. Червонопрапорна, 3 літер Б-1  
тел.: (057) 717-03-54  
[www.modelist.in.ua](http://www.modelist.in.ua)