

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Білогуб Олександр Віталійович

УДК 621.432-1042.018.7

**НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ІНТЕГРОВАНОГО
ПРОЕКТУВАННЯ І ВИРОБНИЦТВА
ТОНКОСТІННИХ ПОРШНІВ ДВЗ**

Спеціальність 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки

Автореферат на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2011

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у ПАТ «АВТРАМАТ» Міністерства промислової політики України і на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор

Пильов Володимир Олександрович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут", м. Харків,
професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Грицюк Олександр Васильович,
КП "Харківське конструкторське бюро з
двигунобудування", м. Харків, заступник Генерального
конструктора з НДР, головний конструктор

доктор технічних наук, професор

Клименко Леонід Павлович,
Чорноморський державний університет ім. Петра Могили,
м. Миколаїв, ректор

доктор технічних наук, професор

Ткачук Микола Анатолійович,
Національний технічний університет "Харківський
політехнічний інститут", м. Харків, завідувач кафедри
теорій і систем автоматизованого проектування механізмів
і машин

Захист відбудеться 22 грудня 2011 р. о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.13 в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись в науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" за адресою 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «18» листопада 2011р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Осетров О.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Поршень – одна з наукоємних деталей двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Конструкція його значною мірою впливає практично на всі основні показники сучасних двигунів, має значні резерви й перспективи щодо удосконалення. Тому розробка, виготовлення, просування на первинний і вторинний ринки збуту поршнів сьогодні потребують відповідного наукового пошуку, підвищення рівня конструкторсько-технологічних можливостей учасників процесу, застосування комп'ютерно-інтегрованих комплексів проектування і виробництва, а також CALS-технології підтримки життєвого циклу (ЖЦ) конструкції.

Сучасний стан в області проектування і виробництва поршнів ДВЗ дозволяє стверджувати, що існує науково-виробнича проблема, яка пов'язана з узгодженням результатів теоретичних і експериментальних досліджень, проектних рішень, технологій, виробництва і використання нових наукоємних конструкцій. Її вирішення безпосередньо спрямовано на підвищення ефективності наукових робіт, скорочення термінів розробки науково-технічної продукції та її виготовлення. З іншого боку, мінімізація ризиків впровадження інтегрованих автоматизованих систем (АС) на базі застосування єдиного інформаційного простору CALS-технології є перспективною, в першу чергу, для підприємств середнього розміру, саме до яких традиційно відноситься виробництво поршнів.

До останнього часу основна увага дослідників приділялась розробкам концепцій проектування та методів забезпечення ресурсної міцності масивних конструкцій поршнів дизелів. Проте, світові ринки двигунів для легкових автомобілів, які постійно розширюються, сьогодні мають і найближчим майбутнім матимуть значно більший сектор двигунів з примусовим запалюванням. Ця тенденція відстежується і національним виробником поршнів для ДВЗ – ПАТ «АВТРАМАТ» (м. Харків), у якого при загальному річному випуску понад 2 млн. поршнів частка виробництва тонкостінних – для двигунів з примусовим запалюванням – перевищує 80%. При цьому важливо, що тонкостінний поршень внаслідок особливостей конструкції та умов експлуатаційного навантаження має не тільки специфічні параметри якості, але й особливості як литва їх заготовок, так і механічної обробки, що впливають на ці параметри.

У зв'язку з цим, актуальним є напрямок дисертаційного дослідження, що спрямований на створення наукових основ інтегрованого проектування та виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ і дозволяє вирішити важливу науково-технічну проблему комплексного підвищення технічного рівня та ефективності розробки і виготовлення нових перспективних конструкцій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у ПАТ «АВТРАМАТ» (м Харків) та на кафедрі ДВЗ НТУ «ХПІ». Здобувач, як керівник та виконавець, проводив дослідження відповідно до річних планів технічного розвитку ПАТ «АВТРАМАТ» на 1999-2010 роки та був виконавцем державної НДР МОН України «Розробка наукових основ комплексного забез-

печення перспективного рівня теплонапруженості та екологізації високофорсованих транспортних двигунів внутрішнього згоряння» (ДР № 0103U0011499).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка науково-технічних основ інтегрованого проектування та виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ з примусовим запалюванням з використанням сучасних CAD/CAE/CAM/CALS-технологій з для поліпшення їх якості при зменшенні витрат на проектування та виробництво.

Для досягнення сформульованої мети поставлені наукові, теоретичні та практичні завдання:

1. Виконати аналіз сучасного стану та шляхів застосування системного підходу щодо підтримки ЖЦ тонкостінних поршнів ДВЗ.

2. Розробити методологію інтегрованого проектування, підготовки виробництва та виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ.

3. Встановити сукупність факторів, що визначають споживчу якість тонкостінних поршнів ДВЗ, розробити узагальнені показники якості, а також інтегровану технологію проектно-конструкторських робіт, технологічної підготовки виробництва та виробництва, що дозволяє досягти заданого рівня якості.

4. Розробити методичне забезпечення наскрізного паралельно-послідовного проектування тонкостінних поршнів ДВЗ, в основу якого покласти методи профілювання внутрішньої поверхні та зовнішньої бічної поверхні, що базуються на концепції «термомеханічна напруженість не гірше, ніж у аналога» (гарантоване забезпечення надійності конструкції, що вдосконалюється, у порівнянні з аналогом).

5. Розробити сукупність моделей конструкцій і процесів, які підтримуються в ЖЦ тонкостінного поршня.

6. Виконати комплекс експериментальних досліджень для апробації запропонованої методології створення перспективних поршнів.

7. Створити систему автоматизованого проектування (САПР) тонкостінного поршня та комплекс інших АС підтримки його ЖЦ для їх застосування у ПАТ «АВТРАМАТ», здійснити реальне проходження етапів ЖЦ поршня, які передують експлуатації, з метою забезпечення конкурентоспроможності поршнів для двигунів сімейств МеМЗ, ВАЗ, ЗМЗ, УМЗ.

Об'єкт дослідження – процес наскрізної паралельно-послідовної підтримки етапів ЖЦ тонкостінного поршня ДВЗ, які передують експлуатації.

Предмет дослідження – параметри та конструкції тонкостінних поршнів ДВЗ, технології їх комп'ютерно-інтегрованого проектування і виробництва.

Методи дослідження. Всі теоретичні та експериментальні дослідження базуються на фундаментальних положеннях теорії ДВЗ, теорії механізмів і машин, сучасному математичному інструментарії. Оцінка термомеханічного напруженого стану поршня здійснювалась методом кінцевих елементів (МКЕ) з використанням традиційних і спеціально розроблених граничних умов (ГУ). Оцінка працездатності та ресурсу створюваних тонкостінних поршнів проводилася методами стендових та експлуатаційних випробувань, у т.ч. на моторних стендах ПАТ «АВТРАМАТ»,

ІПМаш НАН України (м. Харків), ВАТ «Ульянівський моторний завод» (м. Ул'янівськ).

Наукова новизна отриманих результатів. Для ДВЗ з примусовим запалюванням вперше запропоновані науково-технічні основи, методологія та сукупність методів інтегрованого проектування, підготовки виробництва та виробництва тонкостінних поршнів, які відрізняються від раніше використовуваних системним урахуванням параметричної якості (якості роботи безпосередньо в двигуні) та якості створення нових конструкцій, що дозволяє забезпечити сукупність основних вимог розробника, виробника та споживачів. Наукову новизну дисертації складають:

1. На основі системного підходу в проектуванні вперше сформульовано достатню умову досягнення рівня якості поршня, що перевищує рівень якості аналога, окреслює реальну область переваг нової конструкції і допустиму область конструкторсько-технологічного пошуку.

2. Вперше розроблено модельний аналог комплексу функцій для оцінки якості тонкостінного поршня ДВЗ з урахуванням особливостей його функціонування та підтримки траєкторії проектно-виробничого середовища його ЖЦ, що дозволяє на всіх етапах ЖЦ поршня, які передують експлуатації, оцінювати доцільність створення нової конструкції.

3. Стосовно тонкостінного поршня ДВЗ вперше розроблені модельні режими навантаження, основною відмінною рисою яких є врахування теплових навантажень номінального режиму, а також силових навантажень максимального крутного моменту, що забезпечує реалізацію концепції гарантованого забезпечення надійності конструкції, яка вдосконалюється.

4. Розроблено новий метод синтезу внутрішньої несиметричної геометрії поршня з урахуванням його теплових і силових навантажень у визначальних модельних умовах роботи.

5. Розроблено новий спосіб синтезу зовнішньої бічної поверхні поршня з урахуванням локальної жорсткості поршня та особливостей конструкції кривошипно-шатунного механізму двигуна (патенти України та Росії).

6. Вперше розроблено метод синтезу системи базових поверхонь тонкостінного поршня, що враховує його навантаження (функціонування) як в процесі виробництва, так і під час роботи в ДВЗ.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропонована та реалізована технологія комп'ютерно-інтегрованої підтримки етапів ЖЦ, що передують експлуатації, дозволяє забезпечити підвищення ефективності виконуваних наукових робіт, проектування, підготовки виробництва та виготовлення прогресивних конструкцій тонкостінних поршнів ДВЗ. При цьому важливе практичне значення для двигунобудівної галузі полягає в наступному:

1. Розроблено систему наскрізного паралельно-послідовного проектування та постановки на виробництво поршнів для ДВЗ із примусовим запалюванням, яка впроваджена у виробництво.

2. Встановлено залежності, що зв'язують якість тонкостінних поршнів ДВЗ і якість траєкторії їх проектно-виробничого середовища з визначальними конструктивно-технологічними параметрами.

3. Встановлені особливості термомеханічного навантаження тонкостінних поршнів ДВЗ.

4. Запропоновано систему рекомендацій по синтезу нових технологій виготовлення поршня, включаючи вдосконалення процесу отримання заготовки та її механічної обробки. Обґрунтована необхідність спільного конструювання поршня та оснастки для його виготовлення.

5. На основі запропонованих методології, концептуальних положень і узагальненого маршруту наскрізного конструкторсько-технологічного проектування та виробництва розроблена і впроваджена внутрішньозаводська процедура (стандарт підприємства), що визначає сукупність дій персоналу ПАТ «АВТРАМАТ» при створенні й виробництві нових виробів, реалізована САПР тонкостінного поршня та комплекс інших АС підтримки його ЖЦ на підприємстві.

6. На основі запропонованої методології наскрізного проектування синтезовано нові конструкції тонкостінних поршнів і технології їх виробництва, отримано 6 патентів на нові промислові зразки тонкостінних поршнів ДВЗ. Здійснено реальне проходження етапів ЖЦ поршня, які передують етапу експлуатації, для отримання конкурентоспроможних поршнів 20-ти найменувань для двигунів сімейств МеМЗ, ВАЗ, УМЗ і ЗМЗ, реалізованих споживачеві в кількості, що перевищує 330 тис. шт.

7. Результати дисертаційного дослідження впроваджені в навчальний процес НТУ «ХП» для підготовки студентів за спеціальністю «Двигуни внутрішнього згорання».

Особистий внесок здобувача. Всі основні положення та результати дисертації отримані особисто здобувачем. Серед них:

- запропонований системний підхід щодо підтримки ЖЦ тонкостінних поршнів ДВЗ з урахуванням всіх факторів впливу на якість функціонування та створення складної технічної системи (СТС);

- сформульована концепція та обґрунтована методологія призначення рівня якості поршня нової конструкції, що перевищує якість аналогів;

- виконано аналіз конструкцій тонкостінних поршнів ДВЗ з примусовим запалюванням та намічені шляхи їх вдосконалення;

- встановлено особливості термомеханічного навантаження тонкостінних поршнів ДВЗ;

- уточнена методика розрахунку сил, що діють на юбку поршня з урахуванням зміщення пальцевого отвору;

- обґрунтована можливість застосування для синтезу конструкції тонкостінного поршня модельних граничних умов, що враховують вплив теплового режиму максимальної потужності і силових впливів режиму максимального крутного моменту;

- за результатами чисельного аналізу зразків-аналогів із використанням модельних граничних умов запропонований метод синтезу конструкції поршня з несиметричною внутрішньою поверхнею;

- запропоновано і впроваджено метод синтезу зовнішньої бічної поверхні поршня;

- запропонована, розроблена і впроваджена методологія наскрізного, переважно паралельного, проектування поршня та оснастки для отримання литої заготовки і подальшої її механічної обробки, що враховує навантаження (функціонування) поршня як при роботі в двигуні, так і при його виготовленні;

- запропоновано методи призначення технологічних баз і закріплень, що мінімізують деформації при фінішних операціях механічної обробки заготовки тонкостінного поршня, що дозволило управляти розподілом розмірних груп його зовнішнього діаметра;

- запропоновано показники оцінки параметричної якості та якості створення поршня, що засновані на зниженні витрат у споживача і виробника.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи оприлюднені, обговорені і позитивно оцінені на: VI-XV Міжнародних конгресах двигунобудівників (с. Рибаче, Крим, 2000-2010 рр.), конференціях "Двигуни для російських автомобілів" (м. Н-Новгород, Росія, 2005 р., Москва, Росія, 2006-2009 рр.), The 3 Korea-Ukraine Edas Turbine Technology Symposium, (м. Дайжон, Південна Корея, 2006 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології, наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2010 р.), Міжнародній конференції «Двигатель-2010», присвяченої 180-річчю МДТУ ім. М.Е.Баумана (м. Москва, Росія, 2010 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 31 публікації, з них 24 – у фахових наукових виданнях України, отримано 1 патент України та 1 патент Росії.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, додатків. Загальний обсяг дисертації складає 469 сторінок, з них 171 рисунок за текстом, 14 рисунків на 14 окремих сторінках, 31 таблиця за текстом, 2 таблиці на 2 окремих сторінках, 4 додатків на 60 сторінках. Список використаних літературних джерел складає з 302 найменувань на 33 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі надано загальну характеристику роботи, розкрито сутність і стан наукової проблеми, обґрунтовано актуальність розглянутої теми, сформульовано мету, основні завдання дослідження та шляхи їх вирішення. Також наведено наукову новизну дисертації, практичну цінність отриманих результатів, особистий внесок здобувача в роботу.

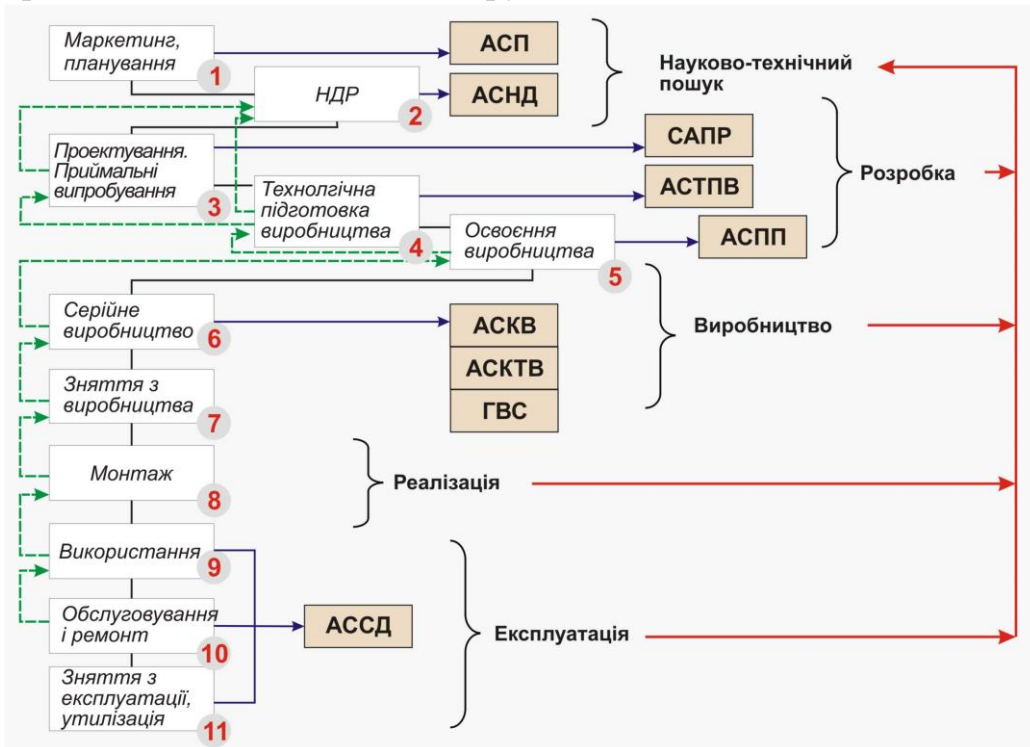
У першому розділі проведений аналіз сучасного стану, особливостей, проблематики проектування і виробництва поршнів ДВЗ з примусовим запалюванням, проблем застосування системного підходу щодо підтримки ЖЦ таких поршнів, врахування всіх факторів впливу на якість функціонування та створення СТС. Здійснено систематизування робіт щодо особливостей подання структури та ефективної підтримки ЖЦ ДВЗ і його поршня; вдосконалення конструкцій поршнів ДВЗ; впливу конструктивних параметрів поршня на параметри двигуна; ефективності техно-

логії виготовлення поршнів; відмінностей вимог специфічних груп учасників підтримки ЖЦ тонкостінних поршнів ДВЗ.

ЖЦ конструкції поршня розглянуто з двох аспектів – методології ефективної підтримки основних стадій і етапів, які передують експлуатації, і взаємодії етапів ЖЦ ДВЗ і ЖЦ його поршня.

Проблемам ефективної підтримки основних стадій та етапів ЖЦ поршня, інших деталей ДВЗ і ДВЗ у цілому значну увагу приділено в роботах Абрамчука Ф.І., Акімова О.В., Заренбіна В.Г., Звонова В.А., Костіна О.К., Олійника О.В., Пильова В.О., Симбірського Д.Ф., Тимохіна О.В., Ткачука М.А., Чайнова М.Д., Шатрова М.Г., Шеховцова А.Ф. та ін., а також фірм MANLE, Kolbenschmit, AVL, Ford та ін. Виконані узагальнення свідчать, що висока функціональна складність поршня, жорсткі вимоги щодо термінів виконання всіх етапів його ЖЦ, крім використання, обмеження витрат на підтримку ЖЦ постійно вступають у протиріччя з існуючими методами проектування. Внаслідок цього сучасні концепції і технології проектування є основними факторами, які визначають рівень досконалості конструкцій та якості ЖЦ у цілому. При цьому неподоланними є протиріччя між шляхами забезпечення досконалості конструкцій та ефективною підтримкою етапів їх ЖЦ, які передують експлуатації. З цих позицій не сформульована концепція і науково не обґрунтована методологія призначення рівня якості поршня нової конструкції, що перевищує якість аналогів.

У роботі виконано аналіз структури визначальних етапів автоматизованої підтримки ЖЦ, представленої на рис.1. Показано, що модель ЖЦ, крім основного низхідного, має два висхідних інформаційних потоки, що створюють механізм, який інтегровано визначає якість конструкції.



Перший бажаний висхідний потік (безперервні лінії) є вирішальним при формуванні рівня якості поршня нової конструкції, що є необхідною умовою впровадження концепції системної підтримки ЖЦ, як узгодження зовнішнього і внутрішнього проектування. Другий,

Рис.1. Маршрутизація визначальних етапів ЖЦ поршня
небажаний, висхідний потік (пунктирні лінії) застосовується, коли прийняті рішення

на попередніх етапах ЖЦ є неприпустимими щодо підтримки поточного етапу. При цьому перший тип потоку на сьогоднішній день не достатньо знайшов ані теоретичної розробки, ані практичної реалізації, а другий, навпаки, залучений в сучасні маршрути підтримки ЖЦ поршня та інших деталей ДВЗ.

Таким чином, методологія ефективної підтримки ЖЦ передбачає застосування висхідних потоків першого типу та мінімізації другого, а подальше вдосконалення поршнів ДВЗ, з урахуванням розвитку теорії САПР і CALS-технології, вимагає переходу від концепції оптимального послідовного конструкторсько-технологічного проектування до нової концепції системної підтримки ЖЦ їх конструкцій.

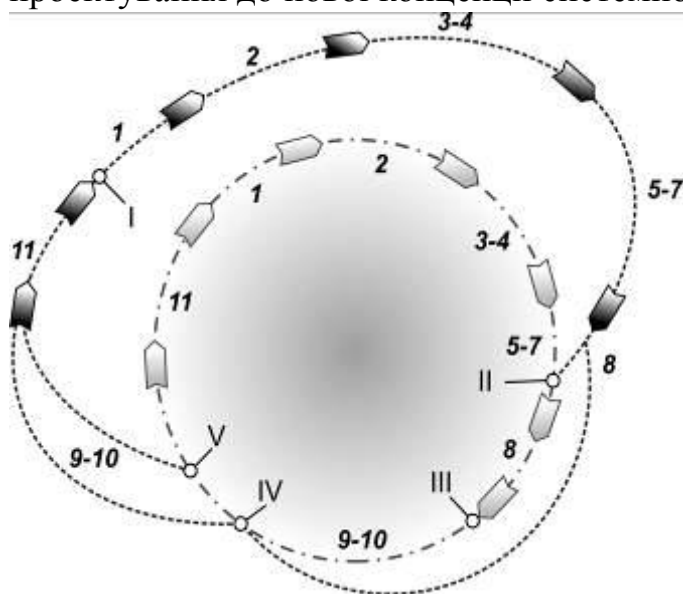


Рис.2. Особливості маршрутизації ЖЦ поршня (----) відносно ЖЦ ДВЗ (- · - ·) дає додаткові жорсткі умови щодо якості поршня – кожен наступний збіг етапів монтажу поршня і технічного обслуговування двигуна бажано виконувати при досягненні нового рівня якості поршня нової конструкції. Разом з цим створення такої конструкції на етапі 9 ЖЦ ДВЗ (поз. IV рис. 2) сприяє продовженню етапу виробництва власне ДВЗ.

Таким чином, має місце гостра необхідність переходу від відомих концепцій гарантованого забезпечення міцності конструкцій поршнів до концепції постійного їх вдосконалення.

На основі виконаного аналізу і теоретичних розробок показано, що досягнення поставленої в роботі мети потребує нового формулювання вимог щодо створення й виходу на ринок інноваційних конструкцій поршнів та розробки відповідних методів реалізації переважно-паралельної CAD/CAE/CAM/CALS-технології, створення проектно-виробничого комплексу, визначальними елементами якого, в першу чергу, є представлені на рис.1 автоматизовані системи проектування (САПР), технологічної підготовки виробництва (АСТПВ) і промислового проектування (АСПП), що функціонують переважно паралельно.

При цьому мають місце проблеми недостатньої уваги наукової громадськості до питань вдосконалення конструкцій тонкостінних поршнів ДВЗ з примусовим запалюванням, технологій їх виробництва та самого виробництва, а також до питань

Узагальнення взаємодій внутрішніх структур ЖЦ ДВЗ і ЖЦ його поршня представлено на рис. 2, де номери етапів ЖЦ відповідають відповідним номерам на рис. 1. Видно, що маршрути життєвих циклів ДВЗ та його поршня перетинаються кілька разів, співпадаючи тільки в частині періоду використання. Тут ЖЦ поршня для нового двигуна підтримується маршрутом I-II-III-IV-I, а для ДВЗ, що знаходиться в експлуатації – маршрутом I-IV-V-I. Це зумовлено різними значеннями ресурсу поршня і двигуна та відповідно до концепції системної підтримки ЖЦ накладає додаткові жорсткі умови щодо якості поршня – кожен наступний збіг етапів монтажу поршня і технічного обслуговування двигуна бажано виконувати при досягненні нового рівня якості поршня нової конструкції. Разом з цим створення такої конструкції на етапі 9 ЖЦ ДВЗ (поз. IV рис. 2) сприяє продовженню етапу виробництва власне ДВЗ.

узгодження цілей, що стоять перед розробниками, виробниками та споживачами поршнів. Перераховані проблеми вимагають системного вирішення на основі розв'язання протиріч між якістю технології та якістю функціонування поршня, між забезпеченням його надійності та мінімізації маси, між досягнутим незатребуваним рівнем інформаційного забезпечення підприємств і затребуваним не досягнутим рівнем системного підходу в підтримці ЖЦ конструкцій.

З урахуванням виконаного в розділі аналізу підкреслено, що сучасна тенденція розвитку двигунобудування пов'язана з міжнародною кооперацією підтримки ЖЦ ДВЗ, до якої залучається значна кількість конструкторських і технологічних бюро, машинобудівних підприємств та фірм, зайнятих розробкою, створенням, просуванням, реалізацією, експлуатацією, обслуговуванням і ремонтом двигунів та їх компонентів. При цьому практично всі світові виробники деталей і вузлів ДВЗ, включаючи поршні і поршневу групу, поставляють свою оригінальну продукцію як первинному, так і вторинному споживачеві, а їх первинним споживачем є провідні світові бренди автомобілебудування. Остання обставина при вирішенні поставлених у роботі завдань розкриває серйозні перспективи перед національними виробниками комплектуючих.

У другому розділі наведено теоретичні основи системного підходу підтримки ЖЦ тонкостінних поршнів на етапах, що передують експлуатації ДВЗ. Запропоновано математичний опис якості інтегрованого конструкторсько-технологічного проектування поршнів, запропоновано вартісні комплексні показники параметричної якості та якості створення тонкостінного поршня. Розроблено маршрут переважно-паралельної наскрізної стратегії підтримки проектів в проектно-виробничому комплексі, сформульовано концептуальні положення підвищення ефективності ЖЦ тонкостінного поршня ДВЗ.

На основі виконаного аналізу відомих параметрів якості поршня та двигуна в цілому, а також методів їх визначення в роботі прийнято поняття «параметрична якість» поршня, як сукупність властивостей, що впливають на параметри двигуна, і «якість створення», як сукупність властивостей, пов'язаних з передпроектними роботами, проектуванням, підготовкою виробництва та виробництвом, тобто з якістю етапів ЖЦ поршня до початку його експлуатації. Сформульована та науково обґрунтована умова призначення рівня якості нової конструкції, що перевищує якість аналогів. Узагальнення математичного опису якості інтегрованого конструкторсько-технологічного проектування та виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ здійснено на основі переходу від реального процесу підтримки ЖЦ до його моделювання.

Запропоновані рішення базуються на уявленнях про реально існуючі функції якості конструкції поршня та функції підтримки його ЖЦ, позначені відповідно $\varphi_n(x, \tilde{\xi})$ та $\varphi_{ЖЦ}(x, \tilde{\zeta})$. Перша з них являє собою параметричну якість об'єкта проектування, а друга – якість його створення. Тут $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ – вектор конструктивно-технологічних параметрів об'єкта проектування, а $\tilde{\xi} = \{\tilde{\xi}_1, \tilde{\xi}_2, \dots, \tilde{\xi}_v\}$ та $\tilde{\zeta} = \{\tilde{\zeta}_1, \tilde{\zeta}_2, \dots, \tilde{\zeta}_w\}$ – відповідно множини режимів функціонування та створення (або експлуатаційного та проектно-виробничого середовища). Тут під режимами функці-

онування запропоновано розуміти режими навантаження поршня в двигуні та режими його навантаження при виготовленні. Під режимами створення розуміємо ті, які безпосередньо впливають на проходження етапів ЖЦ до експлуатації (етапи 1-6, рис. 1). Фактично множина $\tilde{\zeta} = \{ \tilde{\zeta}_1, \tilde{\zeta}_2, \dots, \tilde{\zeta}_w \}$ являє собою складові траєкторії проектно-виробничого середовища, якою здійснюється рух конструкції x етапами ЖЦ.

Для підтримки процесу проектування виконано заміну реальної функції $\varphi_n(x, \tilde{\xi})$ її модельним аналогом $f_n(x, \bar{\xi})$, де в оцінках якості поршнів враховані як теоретична модель експлуатації, так і модель навантаження виробу в процесі його виготовлення, $\bar{\xi} = \{ \eta_\vartheta, \xi_{uz2} \}$. Відповідно, також запропоновано модельний аналог функції $f_{ЖЦ}(x, \tilde{\zeta})$, який представлено у вигляді $f_{ЖЦ}(x, \zeta_{uz2})$.

З урахуванням висунутих положень узагальнений математичний опис якості інтегрованого конструкторсько-технологічного проектування і виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ, заснований на підходах Краснощєкова П.С., Петрова А.А., Пильова В.О., має вигляд:

$$f_n(x, \eta_\vartheta, \xi_{uz2}) \leftarrow \frac{\mu_{xn}}{\mu_{xЖЦ}} x, \xi_{uz2}, \quad f_{ЖЦ}(x, \zeta_{uz2}) \leftarrow \frac{\mu_{xЖЦ}}{\mu_{xn}} x, \zeta_{uz2},$$

$$f_n \subset F_n, \quad f_{ЖЦ} \subset F_{ЖЦ}, \quad x \in X, \quad \eta_\vartheta \subset \Psi, \quad \xi_{uz2} \subset \Psi, \quad \zeta_{uz2} \subset Z, \quad (1)$$

де F_n – повна множина параметрів якості об'єкта проектування; $F_{ЖЦ}$ – повна множина параметрів якості проектно-виробничого середовища; μ_{xn} – множина моделей опису процесів функціонування поршня в умовах експлуатації та виготовлення; $\mu_{xЖЦ}$ – множина моделей опису ЖЦ поршня; Ψ – множина можливих навантажень поршня в процесі його виробництва й експлуатації (модель експлуатаційного середовища, фактор зовнішнього впливу на об'єкт проектування); Z – множина можливих режимів створення поршня (модель проектного та виробничого середовища, фактор внутрішнього впливу на проектну систему, що розглядається).

На поданій методологічній основі для практичного вирішення завдання

$$f_n(x, \eta_\vartheta, \xi_{uz2}) \rightarrow f_n^{onm}, \quad f_{ЖЦ}(x, \zeta_{uz2}) \rightarrow f_{ЖЦ}^{onm}, \quad x \rightarrow x^{onm} \quad (2)$$

з урахуванням згортки векторів якості до скаляру $D(f)$ сформульована достатня умова якості проекту, що перевищує якість аналога:

$$\left\{ \begin{array}{l} D(f_n(x^{onm\ i}, \eta_\vartheta, \xi_{uz2})) > \\ > D(f_n(x^{an}, \eta_\vartheta, \xi_{uz2})), \quad D(f_{ЖЦ}(x^{onm\ i}, \zeta_{uz2})) \geq D(f_{ЖЦ}(x^{an}, \zeta_{uz2})) \\ D(f_n(x^{onm\ i}, \eta_\vartheta, \xi_{uz2}), f_{ЖЦ}(x^{onm\ i}, \zeta_{uz2})) > \\ > D(f_n(x^{an}, \eta_\vartheta, \xi_{uz2}), f_{ЖЦ}(x^{an}, \zeta_{uz2})), \quad D(f_{ЖЦ}(x^{onm\ i}, \zeta_{uz2})) < D(f_{ЖЦ}(x^{an}, \zeta_{uz2})). \end{array} \right. \quad (3)$$

Вираз (3) теоретично забезпечує реалізацію запропонованого підходу, що системно гарантує вихід нової конструкції на ринки збуту. При цьому параметрична якість нової конструкції $f_n(x^{опт}, \eta_3, \xi_{изг})$ приймається вищою, ніж якість аналога $f_n(x^{ан}, \eta_3, \xi_{изг})$, якщо якість її створення $f_{жц}(x^{опт}, \zeta_{изз})$ є не гіршою, ніж у аналога $f_{жц}(x^{ан}, \zeta_{изз})$. В іншому випадку в процесі конструкторсько-технологічного проектування виникає необхідність спільного урахування параметричної якості та якості створення.

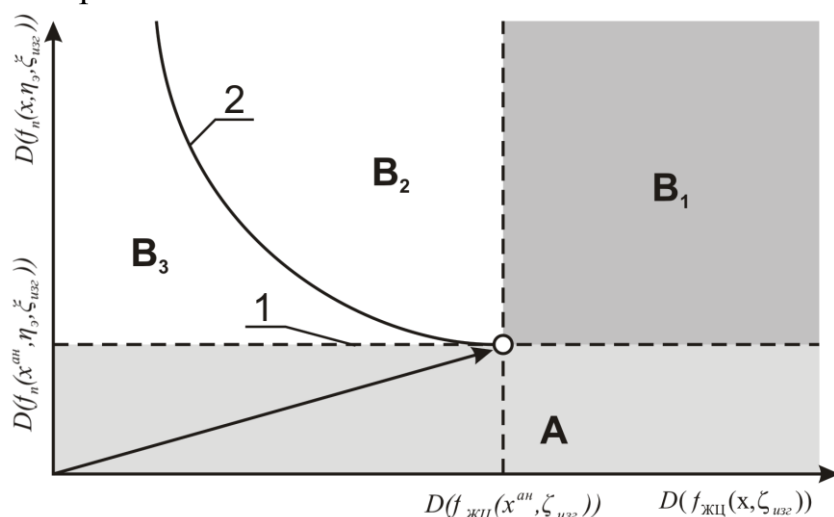


Рис. 3. Розподіл можливих множин конкуруючих конструкцій поршнів в координатах якості проекту $D(f_n)$ та якості проектно-виробничого середовища $D(f_{жц})$

При цьому підмножину B_1 становлять конструкції, які є кращими також за якістю створення $D(f_{жц}(x, \zeta_{изз})) > D(f_{жц}(x^{ан}, \zeta_{изз}))$, крива 2 відповідає умові $D(f_n(x, \eta_3, \xi_{изг}), f_{жц}(x, \zeta_{изз})) = D(f_n(x^{ан}, \eta_3, \xi_{изг}), f_{жц}(x^{ан}, \zeta_{изз}))$, підмножина B_2 є припустимою областю рішень, а B_3 – неприпустимою областю. Показано, що наявність підобласті неприпустимих конструкцій за умов їх створення при відсутності математичного моделювання процесу створення $f_{жц}(x, \zeta_{изз})$ істотно обмежує потенційні можливості проектувальника і ефективність застосування АС з підтримки етапів ЖЦ, що передують експлуатації.

У розділі виконано вибір часткових критеріїв якості, їх розмежування на групи вартісних і якісних, запропонована методика оцінки якості інтегрованого конструкторсько-технологічного проектування і виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ. Для оцінки вартісної параметричної якості запропоновано показник, що характеризує економію палива в розрахунку на один новий поршень при пробігу автомобіля 100 000 км і враховує усереднений режим роботи двигуна (умови експлуатації) і ціну палива:

$$f_{ns} = N_{Imp}(\Delta m_n, \delta \Delta) g_e K_p K_c C_m / \gamma_m, \quad (4)$$

де: $N_{Imp}(\Delta m, \delta \Delta)$ – потужність тертя юбки поршня, яка породжена силами, що діють на поршень; Δm_n – зміна маси нової конструкції в порівнянні з аналогом; $\delta \Delta$ – відно-

сне зміщення осі пальцевого отвору в порівнянні з аналогом; g_e – питома витрата палива на умовному режимі; K_p – коефіцієнт режиму; K_c – коефіцієнт швидкості; γ_m – густина палива; C_m – ціна палива, грн./л.

Для вартісної оцінки якості створення поршня запропоновано показник

$$f_{ЖЦС} = [(\Delta m_n + K_y \Delta m_{лк}) C_{спл} + \Delta C_{обр}] - [(C_{раз} + C_{осн})/B] - [C_{прот} \cdot (1 - K_p)], \quad (5)$$

де: $\Delta m_{лк} = \Delta m_{заг} + \Delta m_{лит}$ – зміна маси ливарного куша; $\Delta m_{заг}$ – зміна маси заготовки; $\Delta m_{лит}$ – зміна маси літника і прибутку; K_y – коефіцієнт угару; $C_{спл}$ – ціна сплаву; $\Delta C_{обр}$ – різниця у вартості обробки нової конструкції і аналога; $C_{раз}$ – ціна розробки; $C_{осн}$ – ціна оснастки; B – обсяг випуску, штук; $C_{прот}$ – ціна прототипу; $K_p = K_{п.ц} K_{рент}$ – коефіцієнт рентабельності і ринку; $K_{п.ц}$ – коефіцієнт «прийняття ціни»; $K_{рент}$ – коефіцієнт рентабельності.

Невраховані в залежностях (4,5) показники, включаючи узагальнений показник надійності конструкції, залучені до групи якісних критеріїв.

У цілому запропонований підхід забезпечує практичну реалізацію концепції постійного вдосконалення конструкцій поршнів на основі переваги вартісних критеріїв якості над відповідними критеріями аналогу при забезпеченні якісних критеріїв, не гірше, ніж у аналога.

З урахуванням розкритих теоретичних аспектів системної оцінки якості функціонування і створення тонкостінного поршня ДВЗ розроблена узагальнена схема маршруту паралельно-последовної наскрізної стратегії підтримки проекту в проектно-виробничому комплексі (рис. 4). При цьому передбачено переважно паралельне виконання процедур, притаманних САПР, АСТПВ, АСПП (блоки 7-9), де традиційна задача пошуку нової конструкції $x^{опт}$, як

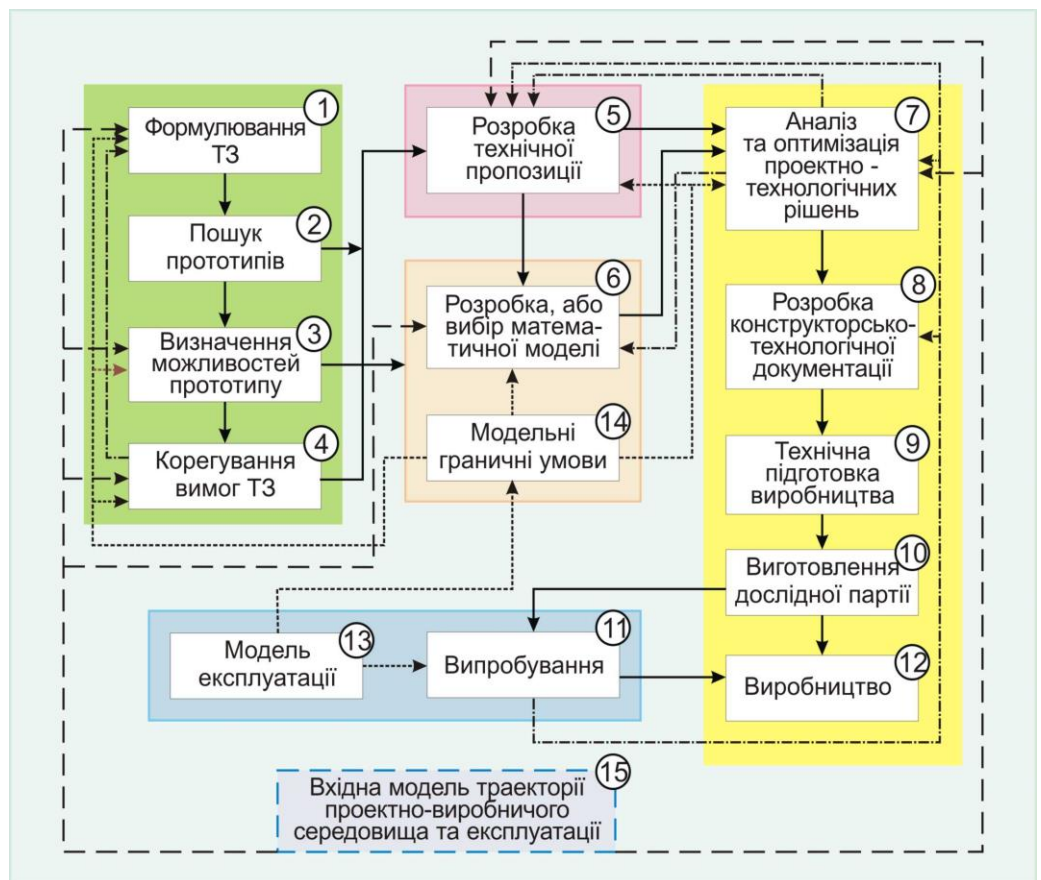


Рис. 4. Маршрутизація наскрізної підтримки проекту в проектно-виробничому комплексі САПР-АСТПВ-АСПП

варіювання конструктивно-технологічними параметрами поршня x , доповнена параметрами моделі навантаження конструкції в процесі її виготовлення $\xi_{уз2}$ і параметрами траєкторії проектно-виробничого середовища $\zeta_{уз2}$, що також варіюються (блок 15). Певна модель експлуатаційного навантаження поршня замінена модельними ГУ (блок 14).

Показано, що досягти цілей всім учасникам ринку поршнів дозволяє урахування окрім конструктивно-технологічних параметрів ще і параметрів технологічного процесу та траєкторії проектно-виробничого середовища.

У третьому розділі на основі узагальнених виразів, що представляють якість тонкостінного поршня ДВЗ та його інтегрованого конструкторсько-технологічного проектування і виробництва сформульована загальна задача, підзадачі і етапи конструкторського проектування, розроблена технологія цього проектування.

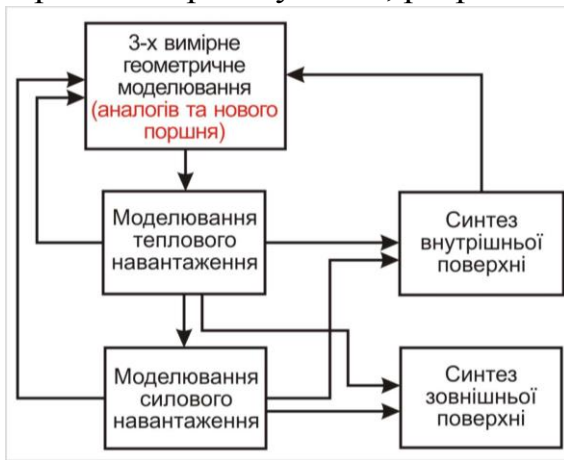


Рис. 5. Схема проходження етапів ЖЦ поршня, пов'язаних з конструкторським проектуванням

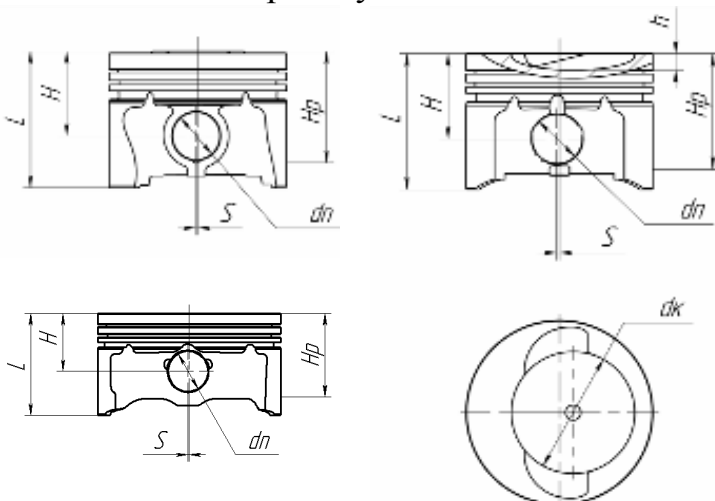


Рис. 6. Основні геометричні параметри тонкостінного поршня

ція, що важко формалізується.

Для тонкостінного поршня ДВЗ виділено 8 типових геометричних параметрів.

Процедури проходження етапів ЖЦ, пов'язаних з проектуванням поршня, зведені до основного завдання конструювання як пошуку резервів для зниження металоємності конструкції Δm_n в виразах (4,5) при забезпеченні термомеханічної напруженості нової конструкції, не вище, ніж у аналога, а також зниження вартості розробки $C_{раз}$ та обробки $\Delta C_{обр}$ у виразі (5). Завдання конструкторського проектування зведені до формування конструкції x при її навантаженні в умовах η_s . Виконано дослідження та обґрунтування способів реалізації кожного з блоків схеми рис. 5 з підтримки проекту. Показано, що для сучасних тонкостінних поршнів ДВЗ знизити масу конструкції вдається за рахунок формозміни незначних геометричних елементів. Вони ж впливають на розподіл температур і напружень у тілі деталі, що проектується. Урахування цих елементів віднесено до специфіки проектування тонкостінного поршня. Ці ж елементи розглянуті в АС як спеціальна інформація.

Це $D, H, H_p, L, S, dn, h, dk$ (рис. 6). Однак вони, а також геометрія КЗ задані розробником двигуна, і тому не підлягають варіюванню. При цьому кількість варійованих параметрів для відомих конструкцій є істотно більшою і змінюється в межах від 68 до 173.

У розділі показаний рівень складності використання сукупності варійованих конструктивних параметрів при побудові геометричної моделі поршня в її модифікаціях, які в системі наскрізного проектування є невіддільними від побудови моделей відливки, ливарного куца, заготівки. На цій основі, а також з урахуванням відсутності завершених алгоритмів генерації нових знань, в роботі запропонована неалгоритмічна методика отримання геометричних моделей, що не має обмежень, які накладаються на область пошуку конструктивних параметрів, крім сформульованих в виразі (3). Застосовано програмний комплекс SolidWorks (сер.№ 00100369948338).

Отримання нового рішення передбачає видалення одних і введення інших графічних примітивів у модель, тобто конструктор варіює не тільки значеннями параметрів поршня-аналога x^{an} , а й змінює власне набір параметрів $x^i \in X$, в тому числі – шляхом розширення відомої множини X . До основних етапів створення 3D-моделі поршня віднесені: формування початкової геометрії; формування додаткової геометрії відливки; формування скруглень; формування елементів механічної обробки; формування елементів еквівалентних площадок; масштабування; створення конфігурацій моделі. Типові конфігурації наведені на рис. 7.

До інформації, яка важко формалізується, також віднесено невизначеність у завданні початкових і граничних умов (ГУ) в задачах аналізу (рис. 8), пов'язаних з особливістю експлуатації двигунів. Для її подолання в розділі розроблені модельні умови найбільш важких перехідного процесу і стаціонарного режиму навантаження тонкостінного поршня ДВЗ з примусовим запалюванням. В силу специфічних особливостей їх експлуатаційного навантаження в якості модельного перехідного процесу

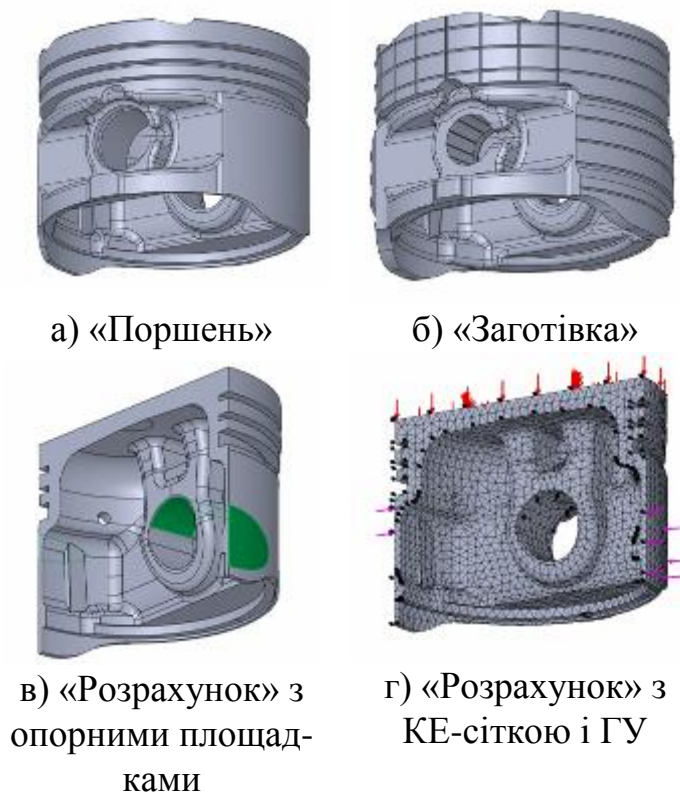


Рис. 7. Основні конфігурації тонкостінного поршня ДВЗ

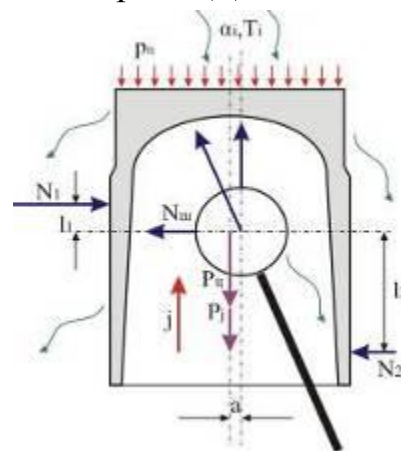
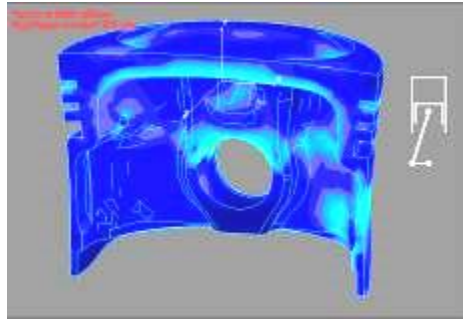
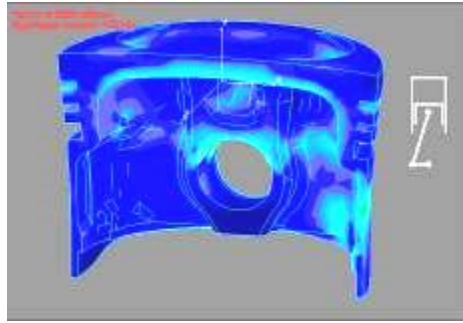


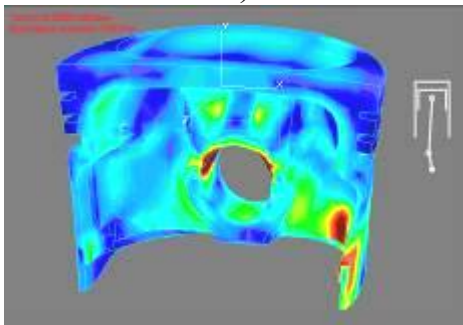
Рис. 8. Термомеханічні впливи, що сприймаються тонкостінним поршнем ДВЗ



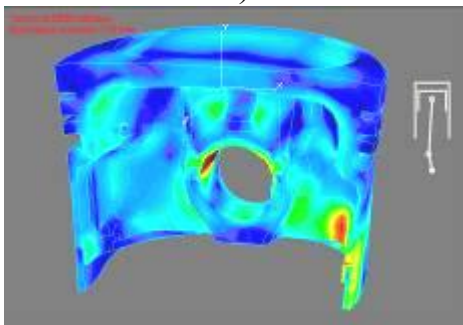
а)



б)



в)



г)

Рис. 9. Теплове розширення (а, б) і силовий вплив (в, г) тонкостінного поршня в залежності від режиму навантаження:

а,в – $M_{кр}=175 \text{ Нм}$, $n=5500 \text{ хв}^{-1}$;
 б,г – $M_{кр}=201 \text{ Нм}$, $n=5000 \text{ хв}^{-1}$

Встановлено, що розмір еквівалентних площадок на юбці поршня (рис. 7в, 7г, рис. 8) має незначний вплив на розрахунковий роз-

запропонований процес миттєвого накиду навантаження від стану холостого ходу непрогрітого ДВЗ до модельного стаціонарного режиму. Через тонкостінність конструкції й високого темпу її прогріву, а також з урахуванням положення концепції гарантованого забезпечення ресурсу пропонується одноступінчатий закон зміни ГУ між вихідним і кінцевим стаціонарними режимами.

Для визначення параметрів важкого модельного режиму навантаження аналіз температурного стану конструкції виконувався з використанням локальних по 12 зонам поверхні поршня ГУ третього роду. Чисельний експеримент проведено для поршня 21126-1004015М двигуна ВАЗ-21126 «Пріора» ($V_h = 1,6 \text{ л}$, $N_e = 72 \text{ кВт}$) згідно методики, викладеної в розділі 5.

Розв'язання задачі теорії пружності виконувалося з урахуванням особливостей, викладених у розділі 5. Виконаний аналіз показав, що максимальне теплове розширення поршня відповідає режиму максимальної потужності ($M_{кр}=175 \text{ Нм}$, $n=5500 \text{ хв}^{-1}$), складає $0,52 \text{ мм}$ проти $0,47 \dots 0,49 \text{ мм}$ для режиму максимального крутного моменту ($M_{кр}=201 \text{ Нм}$, $n=5000 \text{ хв}^{-1}$). При цьому діючі напруження режиму максимального крутного моменту на $10 \dots 20\%$ вище, ніж на режимі максимальної потужності (рис. 9).

На основі комплексу виконаних досліджень запропоновані модельні умови навантаження тонкостінного поршня, відмінною рисою яких є врахування теплового впливу номінального режиму в поєднанні з силовим впливом режиму максимального крутного моменту. Такий підхід забезпечує реалізацію концепції гарантованого забезпечення комплексу показників надійності, не створює умов для інтерференції тіла поршня в тіло циліндра при розрахунку профілю бічної поверхні поршня.

Встановлено, що профілювання бічної поверхні поршня необхідно виконувати виключно після синтезу внутрішніх поверхонь, а зміна останніх тягне за собою перепрофілювання перших.

Встановлено, що розмір еквівалентних площа-

поділ напружень в характерних зонах тонкостінного поршня, а локальні напруження в місці прикладання сил (реакцій) N_1 , N_2 , не чинять істотного впливу на загальний напружено-деформований стан тонкостінної конструкції.

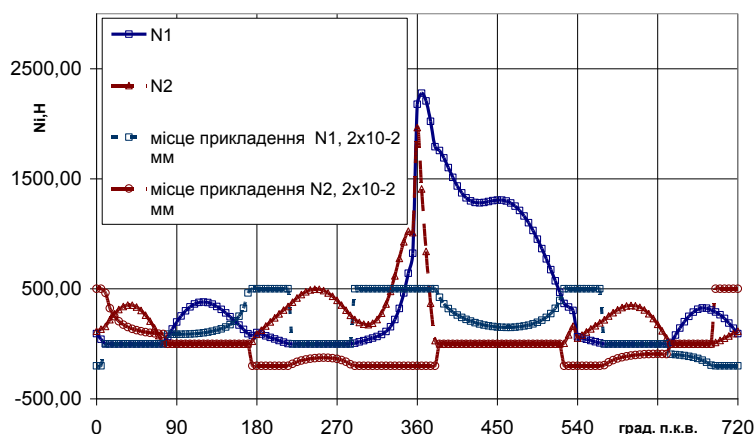
Для моделювання силового впливу були визначені сили і моменти, що діють на поршень. Особливістю запропонованої моделі є врахування зміщення пальцевого отвору відносно осі поршня, що характерно для тонкостінних поршнів автомобільних двигунів. Зазначене зміщення породжує пару сил N_1 , N_2 , що діють на юбці поршня з різних сторін.

На рис. 10 представлені графіки сил, діючих на юбку поршня і плечей їх дії для двигуна ВАЗ-21126 на режимі максимального крутного моменту. У разі зміщення пальцевого отвору максимальні сили відповідають максимальному тиску в циліндрі P_z і для даного випадку на навантаженому боці перевищують 2000 Н, а на ненавантаженому – 1700Н. Встановлено, що для тонкостінних поршнів шуканий момент циклу, який є вихідним до розрахунку профілю, розташований поблизу ВМТ, а саме при P_z , незалежно від наявності або відсутності зміщення пальцевого отвору.

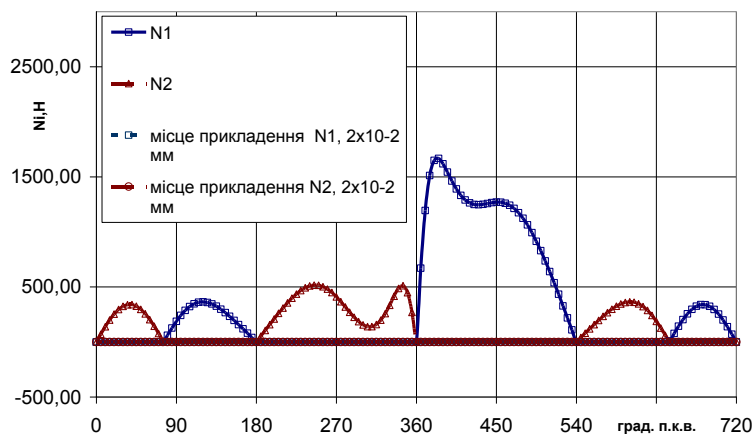
У процесі аналізу низькочастотного і високочастотного навантажень поршня оцінені характерні особливості його температурного і напруженого стану. Виявлено, що найбільш вагомий вплив термічне навантаження оказує на геометричні параметри поршня.

Встановлено, що, в поршні бензинового автомобільного двигуна процес повзучості у порівнянні з поршнем дизеля практично не впливає на ресурсну міцність конструкції. На цій основі спрощено методику оцінки ресурсної міцності та запропоновано розгалужену стратегію проектування з можливим виключенням, як надлишкової, процедури оцінки ресурсної міцності камери згоряння, встановлено умови допустимості такого виключення.

Разом з цим визначено групу елементів, що спричиняють найбільший вплив на параметричну якість конструкції. Це підсилювач бобишки, скіс її нижньої частини, виїмка над пальцевим отвором на внутрішній частині бобишки, підсилювач юбки на



а)



б)

Рис. 10. Діаграми сил N_1 , N_2 і місця їх прикладання до юбки поршня : а – зміщення пальцевого отвору 1 мм; б – без зміщення

внутрішній стороні поршня. З урахуванням встановлених взаємозв'язків між геометрією елементів, масою і термомеханічною напруженістю конструкцій розроблено систему переваг щодо формування внутрішніх поверхонь поршня, у т.ч. несиметричних, що забезпечує термомеханічну напруженість нової конструкції не гіршу ніж у аналогів.

На рис. 11 подано приклади виконаних удосконалень конструкцій поршнів. Для поршня ВАЗ зменшено масу конструкції на 83 г при зменшенні напружень на 23 МПа, для поршня МеМЗ зменшено масу на 62 г при зменшенні напружень на 17 МПа. При цьому максимальні температури утримано на рівні прототипів.

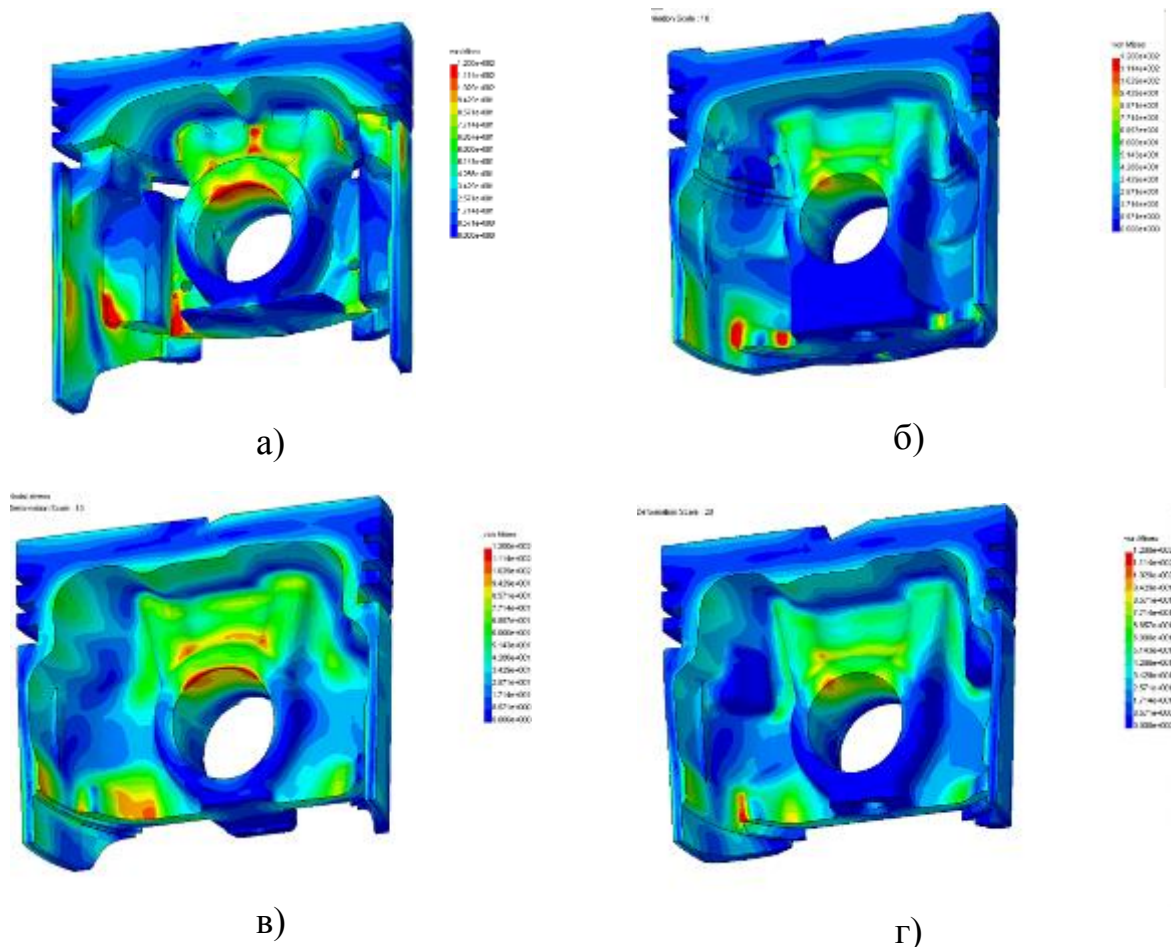


Рис. 11. Приклади удосконалення поршнів ВАЗ 2105-1004015 (а,в) та МеМЗ 245.1004015 (б,г): а – конструкції FIAT; б – конструкції МеМЗ; в,г – нових запропонованих конструкцій

З урахуванням результатів виконаних досліджень запропоновано, захищено патентами і реалізовано новий спосіб формування профілю бічної поверхні тонкостінного поршня, що враховує крім температурних, силові деформації конструкції, локальну її жорсткість (несиметричність конфігурації внутрішньої поверхні), загальну масу, систему навантаження, геометрію кривошипно-шатунного механізму та ін. фактори, яким раніше приділяли недостатньо уваги.

Умовою моделювання профілю бічної поверхні є відсутність проникнення поршня в тіло циліндра при описаних вище модельних умовах навантаження. Несиметричний профіль запропоновано визначати за формулою

$$R(h_i, \varphi_i) = R_0 - \Delta R_t(h_i, \varphi_i) - \Delta R_p(h_i, \varphi_i) - \Delta R_J(h_i, \varphi_i) - ff[\Delta R_k(h_i, \varphi_i)] - \Delta R_\alpha(h_i, \varphi_i) - \Delta R_{yct} + \Delta R_z, \quad (6)$$

де: R_0 – номінальний радіус поршня; h_i, φ_i – висота і кутова координата локальної точки зовнішньої поверхні; $\Delta R_t(h_i, \varphi_i)$ – локальні теплові деформації поверхні поршня на режимі максимального теплового потоку через нього, ($N_{e \max}$); $\Delta R_p(h_i, \varphi_i)$ – локальні деформації поршня від впливу тиску в циклі (поблизу P_z) на режимі $M_{e \max}$; $\Delta R_J(h_i, \varphi_i)$ – локальні деформації поршня від дії прискорень в ВМТ на режимі $M_{e \max}$; $\Delta R_k(h_i) = -\Delta R_{t,p,J}(h_i)_{\max}$ – поправка на зміну периметра юбки; $\Delta R_\alpha(h_i, \varphi_i)$ – локальне проникнення головки поршня в гільзу при повороті поршня в зазорі поршень-гільза і деформації шатунної групи; ΔR_{yct} – установчий зазор; ΔR_z – тепла деформація гільзи в нижньому поясі. Прийняті в формулі (6) поправки номінального радіуса представлені на рис. 12.

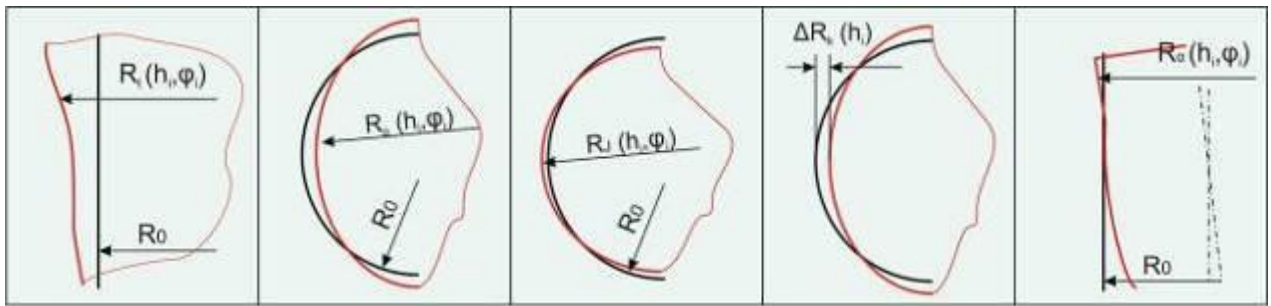


Рис. 12. Формування зовнішньої поверхні поршня

Важливою особливістю розробленої методики є те, що термонапружений стан поршня встановлюється за найбільш навантаженим модельним режимом двигуна, а гільзи – режимом холостого ходу. Така модель забезпечує дотримання концепції гарантованої працездатності поршня. Тоді технологія конструкторського проектування нового тонкостінного поршня передбачає виконання сценарію: 1) розробка 3D-моделі прототипу; 2) чисельний експеримент з отриманням полів температур і напружень для прототипу; 3) розробка 3D-моделі нового поршня з мінімізацією маси і усуненням виявлених (відомих) недоліків; 4) перевірка нової конструкції за критеріями міцності і ресурсу (не гірше ніж прототип), при необхідності – доводка по міцності з використанням розробленого розгалуженого маршруту проектування; 5) профілювання бічної поверхні.

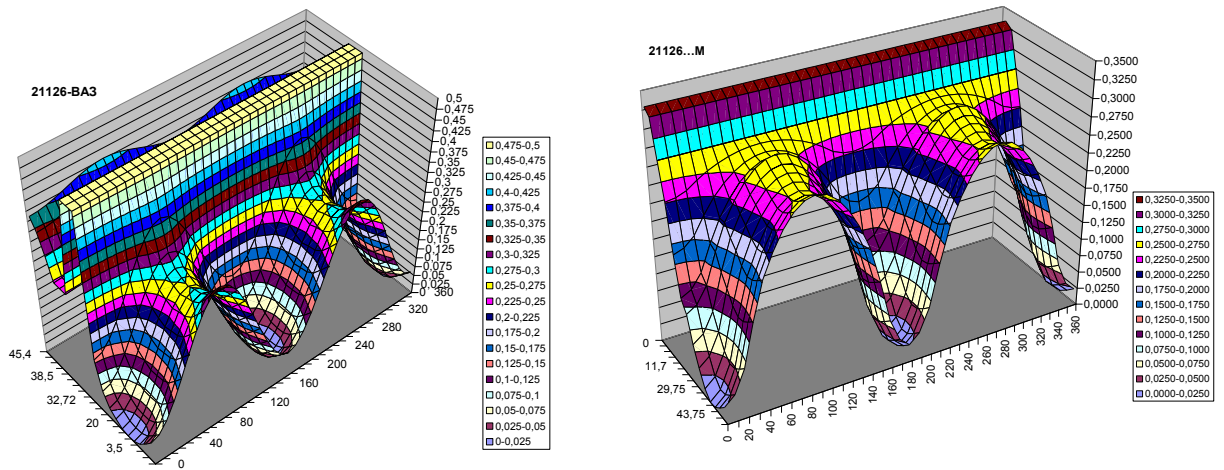
У цілому для кожного конкретного поршня має місце свій власний профіль, який залежить від локальної жорсткості, системи навантаження, а також конкретної геометрії кривошипно-шатунного механізму, інших чинників. При цьому окружна несиметричність профілю, що викликана несиметричним навантаженням та несиметричною локальною жорсткістю конструкції досягає 0,02-0,03 мм.

На рис. 13,14 наведені приклади профілів розроблених тонкостінних поршнів. Рисунки представляють собою розгортки, де по осі x відкладено кутову координату розгортки, по осі y – висоту поршня в мм, по осі z – висоту профілю в мм.

На рис. 13 представлено порівняння профілів поршня 21126-1004015 виробництва ВАЗ і розробки та виробництва ПАТ «АВТРАМАТ». Видно, що профіль ПАТ

«АВТРАМАТ» є більш «повний», так по голівці це 0,4 проти 0,325 мм, а по юбці 0,35 проти 0,25 мм відповідно, тобто поршень ПАТ «АВТРАМАТ» має кращі умови охолодження внаслідок меншого зазору між ним і гільзою.

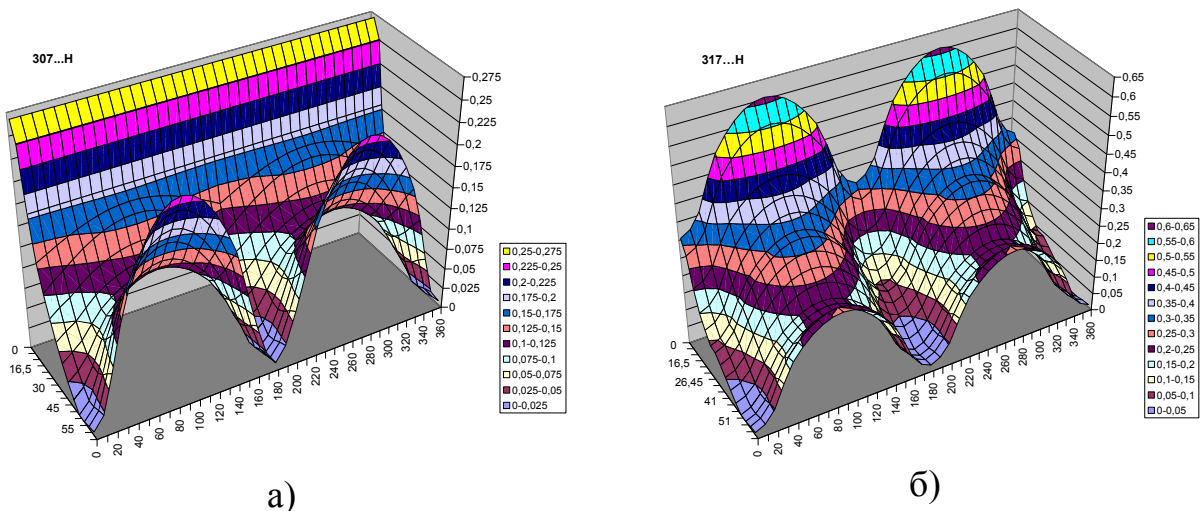
Найбільш повно можливості методики і ефективність практичного застосування ілюструє рис. 14, де представлені профілі розроблених поршнів двигунів МеМЗ-307 і МеМЗ-317. Встановлено, що для останнього, враховуючі зміщення осі циліндра щодо центру шатунної шийки на 1,5 мм, необхідно виконувати еліпсною не тільки юбку, а й головку. Тут для використання виразу (6) показана необхідність і реалізована модель зборки гільза-поршень-палець-шатун. В ній враховані: профіль бічної поверхні поршня; зазори в парах поршень-гільза, поршень-палець і палець-шатун; умови контактної взаємодії в парах поршень-гільза, поршень-палець і палець-шатун; можливість переміщення поршня вздовж осі пальця; температурні деформації деталей; діючі навантаження. Додаткова еліпсність нового поршня досягла 0,3 мм, що забезпечило його працездатність.



а)

б)

Рис. 13. Розгортки зовнішнього профілю поршня ВАЗ 21126-1004015: а - конструкції Kolbenschmitz; б – запропонованої конструкції



а)

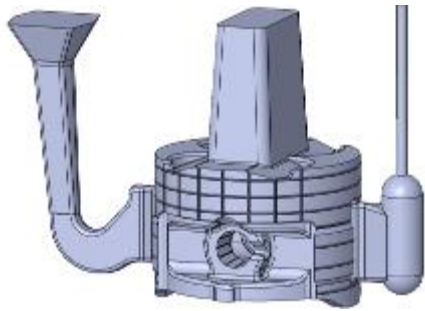
б)

Рис. 14. Розгортки зовнішнього профілю поршнів двигунів МеМЗ-307 (а) і МеМЗ-317 (б)

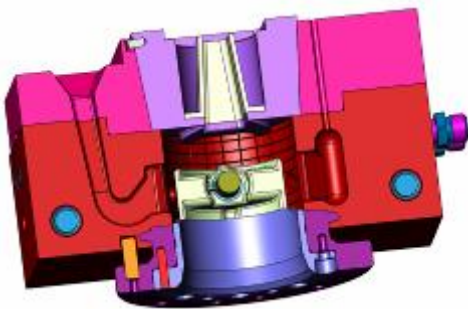
В цілому, на основі розробленої методології і сукупності методів конструк-

торського проектування для ряду поршнів двигунів з примусовим запалюванням отримано зменшення маси конструкцій на 6-75 г (3-21%) без підвищення їх термо-механічної напруженості.

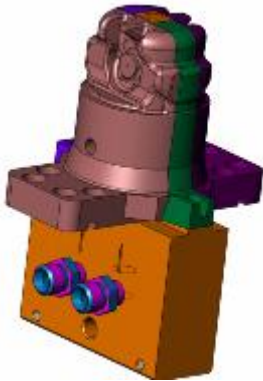
Четвертий розділ присвячено аналізу впливу технологічних аспектів виробництва на якість конструкції поршнів, розробці моделей технологічних процесів і оснастки, необхідних для підтримки етапів виготовлення тонкостінного поршня, аналізу функціонування об'єкта проектування в процесі його створення, аналізу якості власне виробничого середовища як вагової складової ЖЦ конструкції.



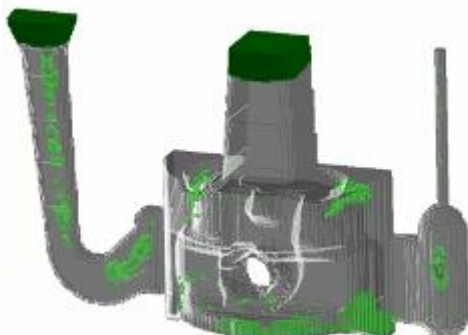
а)



б)



в)



г)

Рис. 15. 3D-моделі відливки (а) кокиля (б, в) і місця можливих усадочних дефектів (г)

Відповідно до розроблюваної методології наскрізного переважно паралельного конструкторсько-технологічного проектування в роботі вперше у складі змінних проектування тонкостінного поршня ДВЗ враховані параметри технологічного процесу ξ_{u32} і власне траєкторії проектно-виробничого середовища ζ_{u32} . Це дозволило розглянути перспективи підвищення параметричної якості поршня, вираз (4), і якості його створення, вираз (5), в аспекті технологічного проектування. Тут одночасно забезпечуються якість заготовки, а згодом і поршня, з одного боку, і зміни технології його виготовлення, з іншого.

У розділі вказано, що спосіб отримання заготовки може зумовити форму необроблених поверхонь і, навпаки, обов'язкова форма і міцність конструкції зобов'язують до використання певної технології. При цьому дії проектувальника в процесі роботи над моделями поршня (рис. 7а), заготовки (рис. 7б), вилки (рис. 15а) і оснастки (рис. 15б,в) полягають у використанні такого варіантного моделювання, яке передбачає: зміни геометрії відливки і кокиля; підбір фарби різної теплопровідності; організацію додаткового локального охолодження або підігріву матриць, верхнього і нижніх стрижнів, елементів, що формують пальцевий отвір і холодильник; зміну геометрії самого поршня. Функціонування конструкції поршня в процесі отримання його заготовки зумовлює моделювання процесу заливки і кристалізації (наприклад, в пакеті LVM Flow, сер.№5033), а також можливість появи усад-

лізації (наприклад, в пакеті LVM Flow, сер.№5033), а також можливість появи усад-

кових раковин за критерієм Нияма, $N_{iym} = \frac{gradT}{\sqrt{dT/d\tau}}$ (рис. 15г). Показано, що використання представленої методики дозволяє обґрунтовано призначати рівень параметричної якості конструкції при підвищенні якості створення, дозволяє знизити ливарний брак при виробництві тонкостінних поршнів в 1,5 рази.

Виконано опис функціонування конструкції поршня в процесі механічної обробки його заготовки. Встановлено, що параметрична якість і якість створення поршня визначаються якістю виготовлення поверхонь копіюванням, а також деформаціями тонкостінного поршня в зафіксованому при точінні стані. На цій основі з'ясовані та систематизовані відхилення геометрії виробу, котрі визначають його параметричну якість (див. табл. 1). На підставі проведеного аналізу зроблено висновок, що знизити вплив перерахованих факторів можливо шляхом зміни маршруту технологічного процесу і конструкцій технологічної оснастки, а також адаптацією конструкції поршня під умови базування і закріплення. Останнє необхідно для забезпечення таких умов закріплення, при яких зміна зусилля, що утримує заготовку під час обробки, буде мало впливати на її деформацію і параметричну якість поршня.

Таблиця 1

Можлива зміна форми поверхні поршня від різних факторів

Фактор, що впливає	Вплив, мкм
Копір з плоским щупом	4
Наладка «щуп-різець»	2
Зміна передавального відношення при точінні	0,5
Поворот щупа	2,3
Деформація юбки при закріплення	8,1
Деформація пальцевого отвору від закріплення	7

Вкрай важливо, що забезпечення зазначених вимог можливе лише при спільному конструюванні поршня і оснастки.

У розділі запропонована система рекомендацій конструкторського пошуку щодо синтезу нових технологій виготовлення поршня. Це дозволило виконати: заміну циліндричних технологічних пальців на триферичні, де крайні сфери спираються на бобишки, а середня – на тягу верстатного пристрою; глибоку модернізацію важеля копіювального пристрою, включаючи максимальне наближення вершини різця до осі хитання важеля, зменшення маси рухомих частин, збільшення жорсткості важеля;

глибоку модернізацію борштанги для обробки пальцевого отвору, що поєднує збірну конструкцію з комбінованою схемою розташування різців; відмову від допоміжної технологічної бази з отриманням чистової бічної поверхні з однієї установки; механічну обробку заготовки від ливарних баз; розробку конструкції поршня, що має нульові або мінімальні деформації при закріпленні.

На рис. 16-18 подано приклади одночасного проектування маршруту механічної обробки поршня (технології), оснастки і власне конструкції поршня. Всі зазначені роботи технологічного і конструкторського проектування виконуються паралельно. Це дозволяє скорочувати маршрут ЖЦ поршня не тільки в процесі його виробництва, але й на етапах попередніх робіт: автоматизованого проектування конструкції, технологічної підготовки її виробництва та промислового проектування.

При цьому в реальному виробництві отримано наступні результати:

– досягнуто точності отримання діаметрального розміру поршня в межах двох розмірних груп для 90% виробів проти 61% до модернізації, повністю унеможливлено діаметральний брак проти 3% до модернізації;

– знижено деформації в зоні пальцевого отвору з 5-7 мкм до 1-3 мкм, скорочено час операції з 2,5 хв. до 1,5 хв.;

– у два рази зменшена номенклатура інструменту, на 30% скорочено час налашки, на 35% знижена собівартість інструменту.

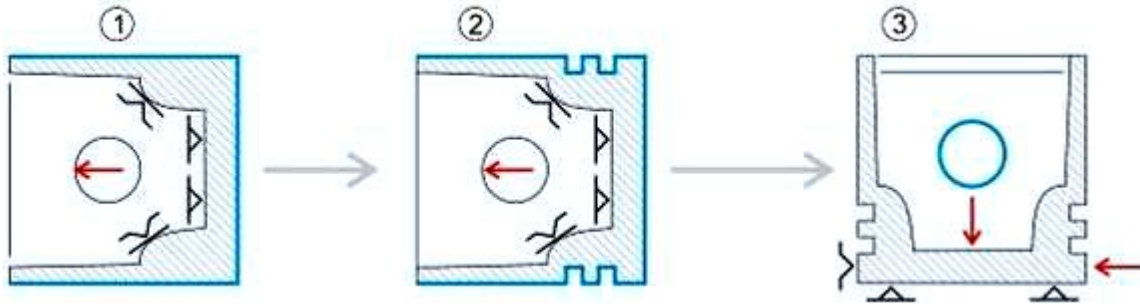
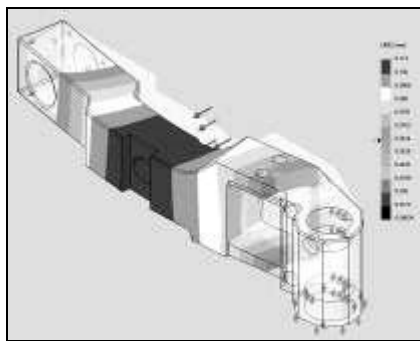
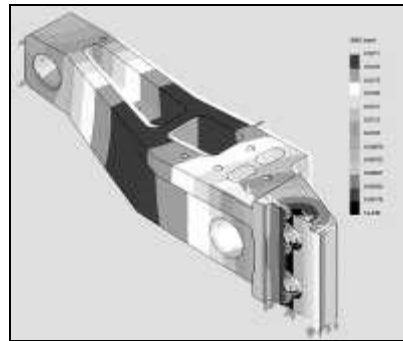


Рис. 16. Схема технологічного процесу обробки поршня за 3 операції:
1 – чорнове обточування; 2 – чистове обточування зовнішньої поверхні;
3 – обробка пальця за один прохід

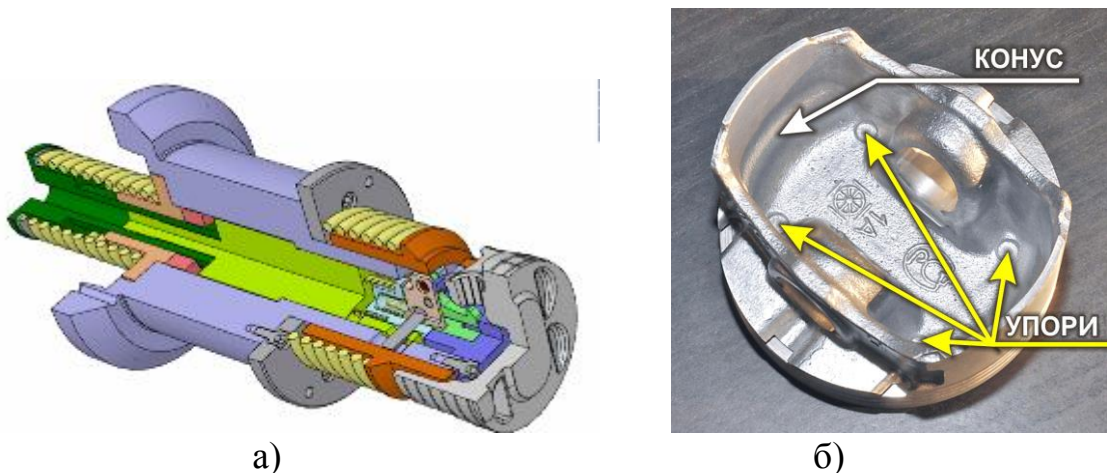


а)



б)

Рис. 17. Важіль копіру: а – до доробки; б – після доопрацювання



а)

б)

Рис. 18. Оправка для обробки зовнішньої поверхні поршня (а)
і базові поверхні відливки (б)

В цілому показані широкі можливості наскрізного переважно паралельного конструкторсько-технологічного проектування, спрямованого на реалізацію завдань, що стоять перед проектувальником. При цьому доведено, що моделювання функціонування поршня в процесі його виготовлення є обов'язковою умовою підвищення параметричної якості конструкції і якості її створення.

У п'ятому розділі представлено використані і розроблені методики експериментального підтвердження прийнятих в роботі положень про модельні ГУ, а також експериментальне підтвердження параметричної якості спроектованих і виготовлених тонкостінних поршнів.

Дослідження температурного стану представлено стосовно поршня ЗМЗ-406, виготовленого зі сплаву АК12М2МгН (АЛ25). Він був препарований термоіндикаторами ВМТК (вимірювач максимальної температури кристалічний) з характерним розміром 0,15 мм. Поршень був підготовлений в АТЗТ «Українські мотори» і ПАТ «АВТРАМАТ» і препарований в ЗМКБ «Прогрес» (рис. 19). За результатами експерименту проведена ідентифікація ГУ 3-го роду.

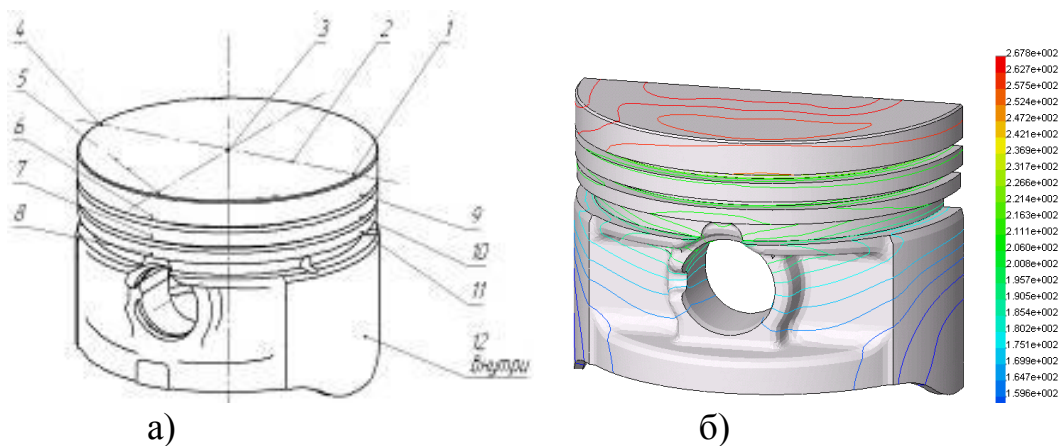


Рис. 19. Зони вимірювання температур (а) та розрахункове температурне поле (б) тонкостінного поршня

Максимальне відхилення між експериментом і розрахунком Δt у контрольних точках склало 6°C , що є допустимим результатом по тепловому розширенню зовнішньої профільованої поверхні

порівняно з допуском на механічну обробку.

Для вимірювань деформацій (і напружень) від силової дії був проведений експеримент з препаративним тензодатчиками поршнем на безмоторному стенді, який забезпечує статичне навантаження (рис. 20) тонкостінних поршнів.

Установка (рис. 20а) дозволяє навантажувати дослідний поршень 1 тиском масла 3, що задається поршнем 2. При цьому за допомогою ходового гвинта 5 повзун переміщує нижню головку шатуна 4, чим забезпечується потрібний кут нахилу β .

Навантаження поршня проводилися для обраних режимів роботи двигуна, характерних точок індикаторної діаграми, відповідного поточного положення поршня і шатуна, власне геометрії поршня. Визначалися такі параметри, як тиск в циліндрі, кут повороту КВ (кут нахилу шатуна) і величина прискорення поршня (у деяких випадках). Найбільш критичним, з точки зору навантаження поршня, є момент максимального тиску в циліндрі.

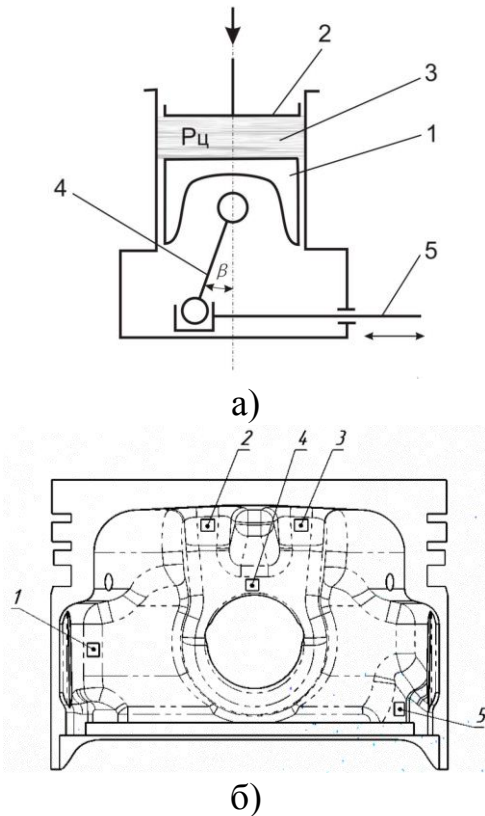


Рис. 20 – Схема установки для силового навантаження поршня (а), і препарування його тензодатчиками (б)

Приклад даних тензометрії представлений в табл. 2, де показані приведені до прийнятої розмірності результати вимірювань. При цьому в колонках 1-4 подані усереднені значення для парних датчиків. Завдяки застосуванню принципу дублювання точок вимірювання (з боків двох бобишек) вдалося отримати результати для всіх досліджуваних точок. Тиск в циліндрі – 6,2 МПа, кут нахилу – 5° після ВМТ.

На основі виконаних експериментів встановлені коректні ГУ по опорним площадкам рис. 7в, що накладаються при вирішенні прямої задачі пружності.

Потужність втрат від тертя, що зв'язана зі зміною (зменшенням) маси поршня, описана як зміна інерційної складової, пов'язаної тільки з парою поршень-циліндр

$$N_{mp} = k \sum [(N_{1i} + N_{2i}) V_i], \quad (7)$$

де: N_{mp} – потужність тертя за цикл; k - коефіцієнт тертя; N_{1i} и N_{2i} - нормальні сили, викликані силами інерції поступально рухомих частин, які діють на юбку з протилежних сторін; V_i - миттєва швидкість поршня.

Таблиця 2.

Приклад результатів силового навантаження поршня

Точка вимірювання	Результати вимірювань, МПа				Середнє значення, МПа
	1	2	3	4	
1	37,2	37,2	37,6	37,5	37,38
2	60,1	60,3	60,65	60,55	60,40
3	57,2	57,1	57,7	57,45	57,36
4	67,9	68	68,5	68,7	68,28
5	70,15	70,3	70,55	70,5	70,38

На рис. 21 показано, що істотну роль, порівняну з впливом маси, грає величина зміщення пальцевого отвору.

Розроблені поршні випробовувалися в лабораторії відділу поршневих двигунів ІПМаш НАН України, моторної лабораторії ПАТ «АВТРАМАТ», випробувальної лабораторії ГРП «АвтоЗАЗ-МОТОР» (м. Мелітополь), випробувальної лабораторії ВАТ УМЗ (м. Ульяновськ). У табл. 3 зведені експериментальні дані про показники

максимальних потужностей і крутних моментів двигунів з поршнями попередніх конструкцій та розроблених за запропонованими методиками.

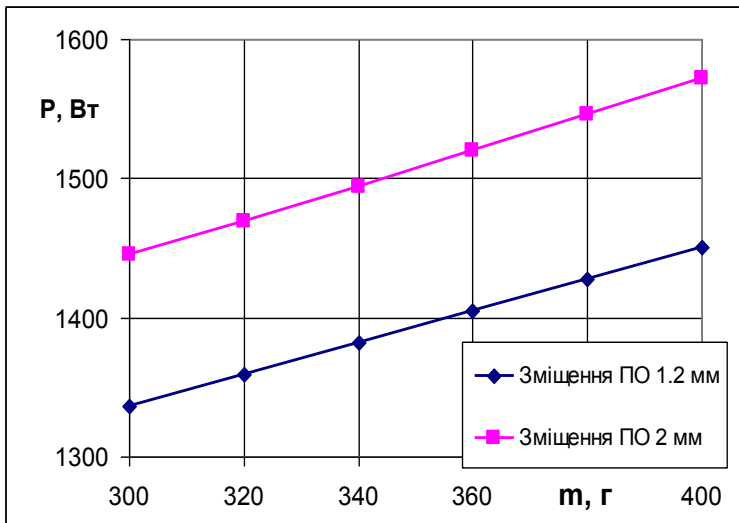


Рис. 21. Залежність потужності тертя від параметрів поршня

Ресурсні випробування проводилися відповідно до ГОСТ 14846-81. Деякі поршні випробувалися за скороченою програмою, яка застосовується для поршнів, що поставляються в запасні частини. Остання відрізнялася тим, що термін випробувань для двигунів робочого об'єму до 2,5 л дорівнює 102 години замість 300. Обробка результатів випробувань проводилася відповідно до зазначеного стандарту.

Протизадирні випробування проводилися за методикою ГРП «АвтоЗАЗ-МОТОР» та полягали в тому, що поршень встановлюється в двигун, який без обкатки працює на холостому ході 5 хв. та виводиться на режим максимальної потужності на 3 години. Після цього двигун розбирається і перевіряється стан циліндро-поршневої групи. Прискорені випробування проводилися за дев'ятирежимною методикою КБ «ВАЗ».

Таблиця 3.

Вихідні показники двигунів з серійними і новими поршнями

Двигун	Маса, г нового / старого / % зниження	Момент, Нм нового / старого / % підвищення	Потужність, кВт нового / старого / % підвищення
ЗМЗ-406	431/455/5	190/188/1,1	97,2/96,6/0,6
ВАЗ-2105	300/375/20	96,8/94,1/2,9	53/50,7/4,5
ВАЗ-21083	322/345/7	108,8/106,2/4,3	54,2/52,6/3,0
ВАЗ-21213	322/347/7,2	136/131/3,8	60/58/3,4
ВАЗ-2112/124	304/365/17	133/129/3,1	70,7/68,8/2,7
МеМЗ-245/7	248/315/21,3	94/91/3,3	38,8/37,5/3,5
МеМЗ-307	250/285/12	108,1/106,5/1,5	49,6/49,0/1,2
УМЗ-421	545/575/5,2	212/208/1,9	79/76/3,8

На рис. 22 наведено фотографію розробленого поршня 21083-1004015М після ресурсних і прискорених випробувань. Мікропрофіль бічної поверхні збережено, видимі локальні натири відсутні.

У табл. 4 наведено дані щодо зносів поясу найбільшого розміру юбки деяких випробуваних поршнів. У всіх випадках знос не перевищує допустимий. Для нових

розроблених поршнів 421.1004015М двигуна УМЗ-421 знос є в 2 рази меншим, ніж за кресленням ВАТ «Мотордеталь-Кострома».



Рис. 22. Поршень 21083-1004015М після ресурсних (а) і прискорених випробувань (б)

Таблиця 4.

Знос по юбці випробуваних поршнів, мкм

№ Циліндра	1	2	3	4
Двигун				
ЗМЗ-406	53	29	46	68
ВАЗ-2105	61	63	51	40
ВАЗ-21083	76	37	53	64
ВАЗ-21128	15	25	19	20
ВАЗ-2112	81	69	73	82
МеМЗ-307	56	65	38	53
УМЗ-421	15	30**	10	35**

** – поршні ВАТ «Мотордеталь-Кострома»

В цілому випробуваннями 11-ти конструкцій розроблених тонкостінних поршнів встановлено, що вибір запропонованих модельних ГУ і розроблений метод синтезу зовнішньої бокової поверхні дозволяють отримати профіль, який не потребує подальшої експериментальної доводки.

Протизадирні випробування поршнів показали, що двигун, забезпечений такими поршнями, може експлуатуватися без обкатки, що відповідає сучасному стану автомобільного двигунобудування.

Правомірність прийнятих положень, достовірність розроблених і вдосконалених математичних моделей також підтверджена відсутністю повернень реалізованих поршнів виробництва ПАТ «АВТРАМАТ».

У шостому розділі результати запропонованої методології переважно паралельного проектування поршня, оснастки та технологій, оцінки перспектив виходу на ринок збуту з урахуванням інтересів виробника, первинного (конвеєра) і вторинного (споживачів) виражені через показники параметричної якості поршня, вираз (4), та якості його створення, вираз (5).

У табл. 5 представлені значення прийнятих у розрахунку вартісної параметричної якості f_{Ls} мас зміщення пальцевого отвору, питомої витрати палива та коефіцієнтів. Для розрахунку прийнята ціна бензину 7 грн./л, умовний випуск – 1000 шт. поршнів.

Показник параметричної якості також оцінений за формулою, що враховує результати виконаних випробувань

$$f_{\Pi s} = (0,000394 \Delta m + 0,000236)G_{V100} C_T \cdot 1000, \text{ грн./}10^5 \text{ км}, \quad (8)$$

де G_{V100} – об'ємна витрата палива на 100 км пробігу, така саме, як і при оцінці $f_{\Pi s}$; вираз в дужках – лінійна апроксимація впливу зміни маси на підвищення усереднених потужності і моменту, отриманих експериментально. Значення показника $f_{\Pi s}$ також наведено в табл. 5 (колонка 16). Має місце достатній збіг показника параметричної якості виконаних конструкцій, отриманого двома способами.

У табл. 6 наведені прийняті для розрахунку значення, що входять до виразу (5). Розрахунок проведено відповідно до ціни сплаву 18 тис. грн./т і $K_{угара} = 0,06$. Маса заготовки встановлена дослідним шляхом по відношенню до маси поршня (рис. 23). Витрати на підготовку виробництва, коефіцієнт рентабельності і коефіцієнт готовності ринку призначаються експертним шляхом.

Таблиця 5

Значення параметрів для розрахунку $f_{\Pi s}$

№ з/п	Двигун	Δm , г	Δ старе, мм	Δ нове, мм	K_p	$g_{\text{мін}}$, г/кВт.год	g_e , г/кВт.год	K_c
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2105	75	1,5	1	0,3	270	317	40
2	406	24	1,5	1,2	0,25	270	308	40
3	21083	23	1,2	0,8	0,3	270	317	40
4	21213	25	1,2	1	0,35	270	327	40
5	21124	61	1,2	0,8	0,3	270	317	40
6	245/2457	67	1,5	0,8	0,3	270	317	40
7	307	35	1,5	0,9	0,3	270	317	40
8	421	30	1,5	1	0,35	300	363	40

Продовження табл. 5

№ з/п	Двигун	$N_{\text{Imp}}(\Delta m, \delta \Delta)$, Вт	Витрата на N_{Imp} , г/год	Витрата на N_{Imp} , грн/год	Витрата на N_{Imp} , грн/100км	f_{ns} , грн/10 ⁵ км	Економія на випуск, грн.	$f_{\Pi s}$ грн/10 ⁵ км
1	2	10	11	12	13	14	15	16
1	2105	41,1	13,06	0,121	0,304	305	304600	277
2	406	15,0	4,64	0,043	0,108	108	108200	130
3	21083	16,4	5,22	0,048	0,121	122	121800	98
4	21213	15,9	5,21	0,049	0,122	122	121500	146
5	21124	30,1	9,59	0,089	0,224	224	223700	264
6	245/2457	41,7	13,25	0,123	0,3092	309	309200	242
7	307	28,5	9,05	0,085	0,211	211	211200	138
8	421	28,9	10,53	0,098	0,245	246	245600	306

Тому наведений у табл. 6 показник $f_{ЖЦs}$ відповідає новим конструкціям для умов сформованого ринку. На рис. 24 приведена графічна інтерпретація співвідношення запропонованих показників якості $f_{\Pi s}$ та $f_{ЖЦs}$. Результати показують, що усі

подані поршні за параметричною якістю $f_{Пs}$ перевершують аналоги. Незважаючи на це, поршні МеМЗ-307, ЗМЗ-406, ВАЗ-21213 для виробника не є привабливими – їх якість відповідає області B_2 за рис. 3.

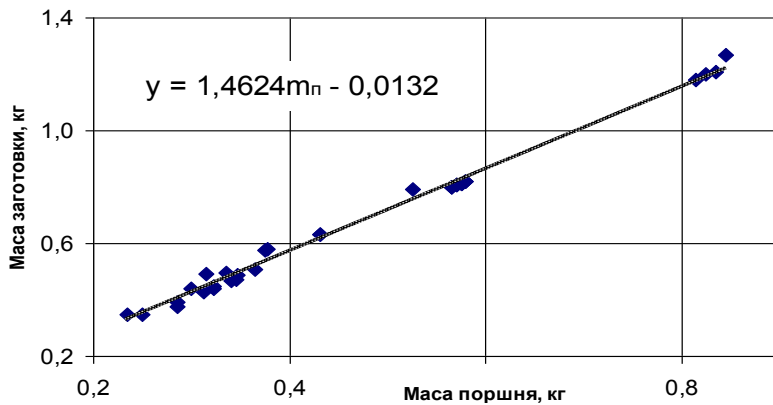


Рис. 23. Залежність маси заготовки від маси поршня для тонкостінних поршнів ПАТ «АВТРАМАТ»

Це свідчить про необхідність покращення для цих поршнів траєкторії проектно-виробничого середовища. В той же час середньозважені показники якості створення $f_{ЖЦs}$ і параметричної якості $f_{Пs}$ для всіх розглянутих конструкцій знаходяться в області B_1 , що дозволило приймати рішення про початок їх виробництва.

Таблиця 6

Значення параметрів для розрахунку $f_{ЖЦs}$

№ з/п	Двигун	$\Delta m_{дет.}$, Г	$\Delta m_{заг.}$, Г	$\Delta m_{куст.}$, Г	$\Delta m_{угару.}$, Г	Економія по металу, грн	$\Delta C_{вигот.}$, грн.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	ВАЗ-2105	75	87,3	131,0	7,86	1,49	0
2	ЗМЗ406	24	28,0	42,1	2,53	0,48	0
3	ВАЗ-21083	23	26,9	40,3	2,42	0,46	0,2
4	ВАЗ-21213	25	29,2	43,8	2,63	0,50	0,2
5	ВАЗ-21124	61	71,0	106,6	6,40	1,21	0
6	МеМЗ-245	67	78,06	117,09	7,03	1,33	0,2
7	МЕМЗ-307	35	40,87	61,31	3,68	0,70	0,2
8	УМЗ-421	30	35,06	52,59	3,16	0,60	0,1

Продовження табл. 6

№ з/п	Двигун	$C_{розроб.}$, грн.	$C_{осн.}$, грн.	$K_{П.Ц.}$	$K_{РЕНТ}$	$C_{прот.}$, грн.	Випуск, шт.	$f_{ЖЦs}$, грн.
1	2	9	10	11	12	13	14	15
1	ВАЗ-2105	20000	30000	1,00	1,11	23	20000	1,94
2	ЗМЗ406	20000	30000	1,00	1,00	31,5	20000	-1,89
3	ВАЗ-21083	20000	30000	0,95	1,10	25,6	100000	1,44
4	ВАЗ-21213	20000	30000	1,00	1,10	25,9	10000	-1,57
5	ВАЗ-21124	20000	60000	1,00	1,10	25,9	100000	3,34
6	МеМЗ-245	24000	30000	1,00	1,20	21,4	25900	4,10
7	МеМЗ-307	15000	60000	1,00	1,20	23	10000	-1,81
8	УМЗ-421	30000	70000	1,12	1,01	33,7	240000	4,87

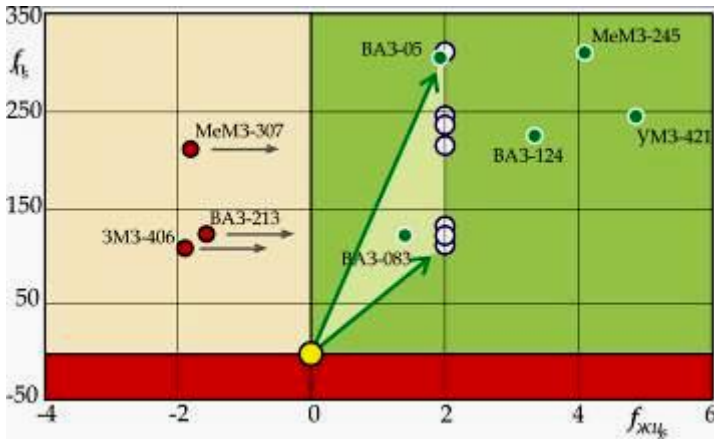


Рис. 24. Показники якості виконаних конструкцій тонкостінних поршнів й, що вкрай важливо, на стадіях прийняття рішення про початок проектування.

У табл. 7 наведено дані по реалізованих поршнях, розроблених і виготовлених відповідно до запропонованої методології. На цій основі виконана оцінка економії палива (і коштів) від застосування нових конструкцій.

Показано, що розроблена методологія дозволяє не тільки здійснювати проходження проекту в автоматизованих системах проектування, технологічної підготовки виробництва та промислового проектування, а

Таблиця 7

Кількість випущених поршнів за моделями станом на 01.01.2010 р.

№ з/п	Позначення	Кіл-ть, шт.	№ з/п	Позначення	Кіл-ть, шт.
1	406.1004015Н	65788	11	11194-1004015М	1656
2	405.1004015Н	6088	12	21128-1004015М	12832
3	421.1004015Н	56822	13	2110-1004015М М-50	320
4	2105-1004015 Н	24789	14	2110-1004015М М-70	114
5	2105-1004015 У	10953	15	2110-1004015М М-80	68
6	21083-1004015 М	6003	16	245.1004015Н	41184
7	21213-1004015 Н-10	6787	17	2457-1004015Н	32483
8	2112-1004015 Н	1102	18	307.1004015Н	11678
9	21124-1004015 Н	41082	19	307.1004015Н -50	37
10	21126-1004015 М	14592	20	317.1004015Н	1277
Усього:					335655

В цілому розроблена методологія інтегрованого переважно паралельного конструкторсько-технологічного проектування і виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ в силу своєї ефективності об'єктивно призвела до істотної зміни траєкторії проектно-виробничого середовища на підприємстві. При цьому поетапне впровадження розробленої системи у ПАТ «АВТРАМАТ» дозволило знизити загальне число конструкторів з 55 до 13 і збільшити питому кількість поршнів, які виробляються на одного конструктора, більше ніж в 4,5 рази - з 30 до 140 тис. шт. на рік (рис. 25).

Це стало можливим, в першу чергу, завдяки поєднанню в особі одного конструктора розробника і виробу (поршня), і оснащення для виготовлення заготовки та подальшої її механічної обробки.

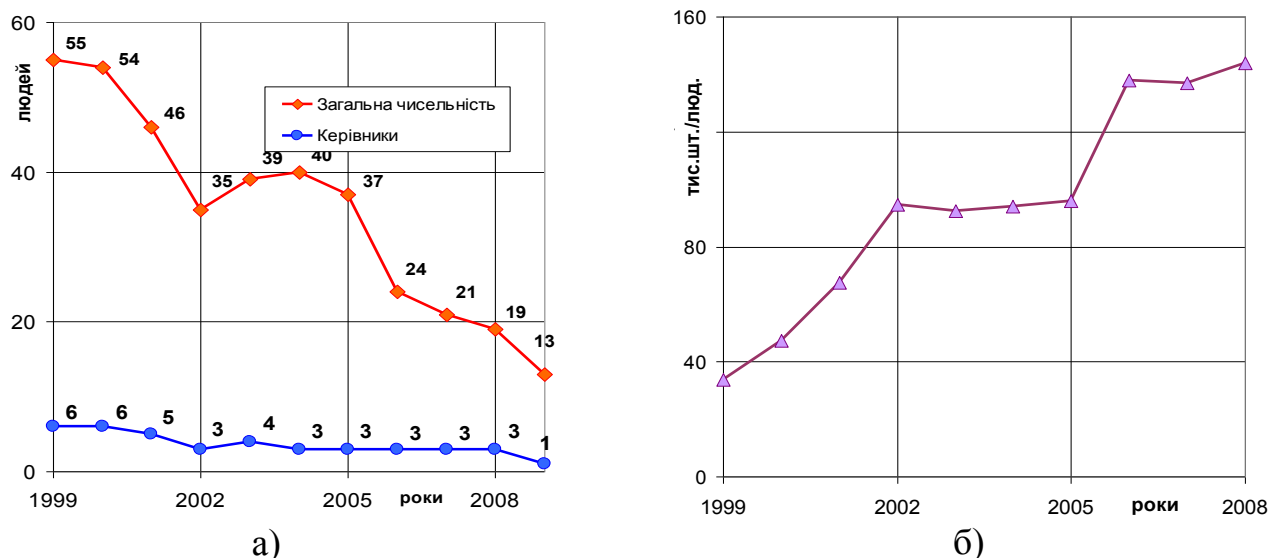


Рис. 25. Чисельність конструкторського персоналу (а) і вироблення поршнів на 1-го конструктора (б) у ПАТ «АВТРАМАТ»

Дії, що здійснюються персоналом усіх підрозділів організації, представлених на рис. 4, регламентовані розробленим стандартом підприємства «Документована процедура 7.3-1» від 03.10.2008 "Проектування, розробка нових виробів і підготовка виробництва" та іншими процедурами, що входять невід'ємною частиною в сертифіковану систему менеджменту якості згідно з ISO 9001-2008 р. (сертифікат BVQI № UA226414 від 15.09.2010 р.).

Таким чином, розроблені науково-технічні основи інтегрованого проектування і виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ не тільки дозволили прогнозувати ринкові перспективи розроблюваних поршнів, серійно розробляти і масово виготовляти нові конструкції, що перевершують відомі зразки-аналоги, але й істотно підвищити продуктивність праці інженерно-технічного персоналу підприємства.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі поставлена і вирішена науково-практична проблема розробки наукових основ комп'ютерно-інтегрованого проектування і виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ з примусовим запалюванням на базі використання сучасних CAD/CAE/CAM/CALS-технологій. Запропонована методологія забезпечує узгодження результатів теоретичних і експериментальних досліджень, проектних рішень, технологій створення заготовок і їх механічної обробки, виробництва та використання нових наукомістких конструкцій. Комплексне додання зазначеної проблеми безпосередньо спрямовано на підвищення ефективності виконуваних наукових робіт, використання в найкоротші терміни науково-технічної продукції, яка розробляється, у виробничій сфері, системно гарантує вихід нових конструкцій на ринки збуту.

У дисертаційному дослідженні отримано такі основні результати:

1. Обґрунтована необхідність переходу від концепції гарантованого забезпечення міцності конструкцій тонкостінних поршнів ДВЗ до концепції постійного їх вдосконалення на основі забезпечення сукупності визначальних критеріїв якості, а також від концепції оптимального конструкторсько-технологічного проектування поршнів до концепції системної підтримки ЖЦ їх конструкцій на основі інтеграції автоматизованих систем наскрізного проектно-виробничого комплексу.

2. Розроблено методологію інтегрованого проектування, підготовки виробництва і виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ. Вона базується на науково-практичному підході до конструкторсько-технологічного проектування з урахуванням системної оцінки якості функціонування (навантаження) конструкцій в процесі їх виготовлення і експлуатації, а також якості створення, як властивостей, пов'язаних з етапами ЖЦ поршня до початку його експлуатації, що дозволяє забезпечити сукупність основних вимог розробника, виробника і споживачів.

3. На основі уявлень про реальні функції якості конструкції поршня, процедури і функції підтримки його ЖЦ запропоновано узагальнений математичний опис якості інтегрованого конструкторсько-технологічного проектування і виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ. Здійснено вибір одинадцяти визначальних часткових критеріїв якості, як частини їх повної множини для об'єкта проектування і його ЖЦ. Здійснено згортку визначальних критеріїв до двох основних вартісних і ряду допоміжних якісних.

4. На розробленій методологічній основі запропонована узагальнена схема маршруту наскрізної стратегії підтримки проекту в проектно-виробничому комплексі. Створено інтегровану технологію проектно-конструкторських робіт, технологічної підготовки виробництва та виробництва, що дозволяє досягти заданого рівня якості, що передбачає переважно паралельне виконання процедур, притаманних САПР, АСТПВ, АСПП і дозволяє досягти заданого рівня якості тонкостінного поршня ДВЗ.

5. Розроблено метод синтезу внутрішньої несиметричної поверхні поршня, що базується на концепції гарантованого забезпечення надійності конструкції, яка вдосконалюється, в порівнянні з аналогом, а також системі рекомендацій і переваг конструкторського пошуку.

6. Розроблено, захищено патентами і реалізовано новий спосіб формування несиметричного профілю бічної поверхні тонкостінного поршня, що враховує, крім температурних, силові деформації конструкції, локальну її жорсткість, геометрію кривошипно-шатунного механізму.

7. Розроблено моделі поршня, заготівки, технологічної оснастки і процесів, які підтримуються на етапах виготовлення тонкостінного поршня ДВЗ і необхідні для аналізу функціонування об'єкта проектування в процесі його створення, оцінки якості траєкторії проектно-виробничого середовища, а також модернізації конструкції об'єкта проектування та траєкторії його проектно-виробничого середовища.

8. Правомірність прийнятих положень, достовірність розроблених методів, удосконалених математичних моделей, запропонованих модельних ГУ підтверджені комплексом експериментальних досліджень і відсутністю повернень реалізованих нових поршнів.

9. Практичне використання розроблених наукових основ інтегрованого проектування і виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ з примусовим запалюванням дозволило зменшити масу ряду розроблених конструкцій на 6-75 г (3-21%) без підвищення їх термомеханічної напруженості при зниженні ливарного браку в 1,5 рази, виключення браку діаметрального розміру, отриманні розрахункового профілю бічної поверхні поршня, що не потребує експериментальної доводки та забезпечує експлуатацію двигуна з такими поршнями без обкатки.

10. Розроблено схему прийняття рішення про виробництво нового або модернізованого поршня, «Документована процедура 7.3-1», що регламентує дії персоналу ПАТ «АВТРАМАТ» та створено проектно-виробничий комплекс, визначальними елементами якого є функціонуючі переважно-паралельно САПР, АСТПВ, АСПП, АСУТП та здійснено реальне проходження етапів ЖЦ поршня, які передують експлуатації. Розроблено 20 найменувань конкурентоспроможних поршнів для двигунів сімейств МеМЗ, ВАЗ, ЗМЗ, УМЗ, що виготовлені в кількості, яка перевищує 330 тис. шт. (акт впровадження у виробництво ПАТ «АВТРАМАТ»).

11. Результати дисертаційного дослідження впроваджені в навчальний процес кафедри ДВЗ НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Белогуб А.В. Новые подходы к конструированию поршней /А.В. Белогуб // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: Гос. аэрокосмич. ун-т «ХАИ». – 2000. – Вып. 19. – С. 201-206.
2. Белогуб А.В. Расчетно-экспериментальное формирование образующей поршня тепловозного дизеля /А.В. Белогуб, О.О.Зотов, А.Г. Щербина // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: Гос. аэрокосмич. ун-т «ХАИ». – 2000. – Вып. 26. – С. 100-102. *Здобувачем виконано аналіз причин заклинювання поршня, постановку задачі моделювання, розрахунки нового профілю.*
3. Білогуб О.В. Исследование термонапряженного состояния поршня /О.В. Білогуб, В.О. Байков, А.І. Біцюра, Ю.О. Гусев, О.О. Зотов, А.Г. Щербина, О.С. Стрибуль // Високі технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХП». – 2002. – Вип. 1 (5). – С. 32-35. *Здобувачем виконано постановку задач дослідження, запропоновано модельні граничні умови, здійснено аналіз результатів та вироблено пропозиції щодо вдосконалення конструкції поршнів.*
4. Білогуб О.В. Методика расчета переменного напряженно-деформированного состояния поршня в цикле для различных режимов работы двигателя / О.В. Білогуб, О.С. Стрибуль // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: Нац. аерокосміч. ун-т «ХАИ». – 2002. – Вип. 30. – С. 124-126. *Здобувачем виконано постановку задач, запропоновано модельні граничні умови, проведено аналіз результатів моделювання та сформульовано пропозиції щодо вдосконалення конструкцій поршнів.*

5. Білогуб О.В. Исследование температурного поля поршня /О.В. Білогуб, Ю.О. Гусев, О.О. Зотов, А.Г. Щербина // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: Нац. аерокосміч. ун-т «ХАІ». – 2002. – Вип. 31. – С. 120-123. *Здобувачем виконано постановку задачі дослідження, запропоновано методику дослідження, здійснено обґрунтування граничних умов та здійснено аналіз результатів моделювання.*
6. Белогуб А.В. Исследование влияния стального терморегулирующего кольца на тепловое расширение поршня /А.В. Белогуб, А.Г. Щербина //Авиационно-космическая техника и технология.– Харьков: Нац. аерокосмич. ун-т «ХАИ». – 2002. – Вып. 32. – С. 382-385. *Здобувачем виконано постановку задачі, запропоновано модельні граничні умови, проведено чисельний експеримент та аналіз його результатів.*
7. Білогуб О.В. Тензорезистор для оценки напряженно-деформированного состояния поршня двигателя внутреннего сгорания /О.В.Білогуб, Ю.О. Гусев, Д.Ф. Симбірський, О.О. Зотов // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: Нац. аерокосміч ун-т «ХАІ». – 2002. – Вип. 34. – С. 185-187. *Здобувачем виконано аналіз можливих варіантів застосування тензорезисторів для конкретної задачі.*
8. Белогуб А.В. Прогрессивные решения при проектировании и производстве поршней автомобильных двигателей /А.В. Белогуб, А.С. Стрибуль // Двигатели внутреннего сгорания. – 2005. – №1. – С.132-134. *Здобувачем запропоновано розподіл вимог учасників ринку поршнів, методику обчислювання втрат тертя та виконано аналіз результатів.*
9. Белогуб А.В. Контроль качества проектирования поршня быстроходного автомобильного двигателя / А.М.Левтеров, А.В.Белогуб // Двигатели внутреннего сгорания. – 2005. – №1. – С.135-137. *Здобувачем виконано аналіз результатів експериментальних досліджень.*
10. Белогуб А.В. Учет технологических факторов, влияющих на точность получения внешней поверхности юбки поршня и оценка возможности снижения брака на производстве /А.В. Белогуб, А.С. Стрибуль, Н.Л. Сапич // Двигатели внутреннего сгорания. – 2005. – №2. – С.111-114. *Здобувачем виконано постановку задачі, розроблено методику моделювання, запропоновано конструктивні вдосконалення, проведено аналіз результатів моделювання та внесено пропозиції щодо вдосконалення технології.*
11. Белогуб А.В. Поршень для двигателя МеМЗ-317 ($V_h=1.4$ л) /А.В. Белогуб, А.С. Стрибуль, С.А. Нестеров // Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. – № 1. – С. 28-31. *Здобувачем виконано постановку задачі, аналіз результатів моделювання, вдосконалено конструкцію поршня.*
12. Белогуб А.В. Применение обратной задачи теории упругости при проектировании деталей двигателя внутреннего сгорания // А.В. Белогуб, А.А. Зотов, Ю.А. Гусев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. – № 1. – С.41-44. *Здобувачем виконано постановку задачі дослідження, запропоновано методику перевірки адекватності граничних умов щодо складності геометричної мо-*

делі.

13. Белогуб А.В. К вопросу о проектировании поршней двигателей внутреннего сгорания /А.А. Зотов, Ю.А. Гусев, А.В. Белогуб // Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. – № 2. – С. 51-53. *Здобувачем виконано постановку задачі, аналіз результатів, внесено пропозиції щодо удосконалення внутрішніх поверхонь поршнів.*
14. Белогуб А.В. Разработка и научное обоснование методики эффективного проектирования поршней двигателей внутреннего сгорания / А.А.Зотов, Ю.А.Гусев, А.В.Белогуб // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – № 1. – С. 38-43. *Здобувачем запропоновано методологічний підхід до створення нових конструкцій тонкостінних поршнів.*
15. Белогуб А.В. Определение параметров закрепления поршня ДВС в станочном приспособлении для его последующей механической обработки/ Е.К. Гордиенко, А.С. Стрибуль, А.В. Белогуб// Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – № 2.– С. 52-56. *Здобувачем виконано постановку задачі, запропоновано граничні умови та модельну схему навантаження, проведено аналіз результатів, вироблено пропозиції щодо удосконалення технології.*
16. Белогуб А.В. Повышение точности механической обработки тонкостенных поршней ДВС /А.В. Белогуб, Е.К. Гордиенко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – № 1. – С. 132-136. *Запропоновано методи призначення технологічних баз і закріплень, що мінімізують деформації при фінішних операціях механічної обробки заготовки тонкостінного поршня, що дозволило управляти розподілом розмірних груп його зовнішнього діаметра.*
17. Белогуб А.В. Некоторые подходы к визуализации технических решений при проектировании и производстве поршней /А.В. Белогуб, А.В. Чигрин, М.А. Максимова // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – № 2. – С. 72-78. *Здобувачем виконано постановку задачі, запропоновано застосувати метод подвійного обертання відеокамери і поршня, виконано аналіз можливостей візуалізації для практичних задач проектування поршнів.*
18. Белогуб А.В. Повышение производительности и точности обработки боковой поверхности поршня ДВС/ Е.К. Гордиенко, А.В. Белогуб // Авиационно-космическая техника и технология. – Харків: Нац. аерокосміч ун-т «ХАІ». – 2009. – №9. – С. 32-37. *Здобувачем виконано постановку задачі, запропоновано засіб зменшення маси важеля копіювального пристрою, виконано аналіз результатів.*
19. Белогуб А.В. Компьютерно-интегрированное моделирование литейных процессов в автомобильных поршнях на основе конструкторско-технологической методики проектирования деталей ДВС / В.И. Алехин, А.В. Белогуб, А.П. Марченко, О.В.Акимов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – № 2. – С. 101-104. *Здобувачем запропоновано методику урахування дефектів литва поршнів, постановку задачі, проведено аналіз результатів моделювання.*
20. Белогуб А.В. Поддержка жизненного цикла тонкостенных поршней ДВС на основе технологии интегрированного проектирования и производства / А.В.

- Белогуб // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №3. – С. 27-40.
21. Белогуб А.В. Оценка низкочастотного термонапряженного состояния тонкостенного поршня ДВС/ А.В.Белогуб, В.А. Пылев // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2010. – Вып. 49. – С. 35-38. *Здобувач запропонував постановку задачі, чисельний експеримент, узяв участь в аналізі результатів.*
 22. Білогуб О.В. Оцінка впливу комплексу конструктивних та регулювальних параметрів дизеля ЧН12/14 на теплонапруженість і ресурсну міцність поршня / В.Т. Турчин, В.О. Пильов, О.В. Білогуб, І.М. Карягін, В.Т. Коваленко, С.В. Обозний, В.В. Матвеєнко // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №1. – С. 48-51. *Здобувач узяв участь в оснащенні поршня термонарами, здійснив аналіз впливу регулювальних параметрів двигуна на температурний стан поршня.*
 23. Белогуб А.В. Повышение производительности обработки пальцевого отверстия поршня ДВС/ Е.К. Гордиенко, А.В. Белогуб // Авиационно-космическая техника и технология. – Харків: Нац. аерокосміч ун-т «ХАІ». – 2010. – №8 (75) – С. 80-83. *Здобувачем виконано постановку задачі, запропоновано схему розташування різців.*
 24. Белогуб А.В. Особенности термомеханического нагружения и учета ресурсной прочности тонкостенного поршня бензинового ДВС / В.А. Пылев, А.В. Белогуб // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №2. – С. 74-81. *Здобувачем виконано чисельний експеримент та аналіз результатів, обґрунтовано спеціальні граничні умови модельного термомеханічного навантаження.*
 25. Белогуб А.В. Модернизация методологии расчета детали поршня на прочность в местах дислокации дефектов усадочного характера/ В.И.Алехин, А.В. Белогуб, О.В. Акимов // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – №2. – С. 62-65. *Здобувачем виконано постановку задачі, конкретизовано розмір дефектів, проведено аналіз результатів моделювання та запропоновано напрям подальших досліджень.*
 26. Пат. 2256897 Российская Федерация, МПК⁷ G01M15/00. Способ оптимизации профиля боковой поверхности поршня ДВС / Белогуб А.В.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «АВТРАМАТ». – № 2003134825/28; заявл. 02.12.2003; опубл. 20.07.2005, Бюл. №20.
 27. Белогуб А.В. Особенности накопления повреждений ползучести в особо теплонапряженных зонах поршней ДВС / В.А. Пылев, А.В.Белогуб, В.Т. Турчин, В.В. Матвеенко // Двигатель-2010: междунар. конф., 16 окт. 2010 г. : сб. науч. трудов. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. – С. 150-152. *Здобувачем виконано чисельний експеримент щодо тонкостінних поршнів та аналіз результатів.*
 28. Белогуб А.В. Моделирование литейных процессов при изготовлении автомобильных поршней / В.И. Алехин, А.В. Белогуб, А.П. Марченко, О.В Акимов // Цветные металлы. – 2010. – №8. – М: Издательский дом «Руда и металлы». –

- С. 81-83. *Здобувачем виконано постановку задачі, взято участь в чисельному експерименті, проведено аналіз результатів моделювання.*
29. Белогуб А.В. Цилиндро-поршнева група. Техніка і технологія /А.В. Белогуб // Харків: ОАО «АВТРАМАТ». – 2002. – 40 с.
30. Белогуб А.В. ОАО «Автрамат» - інженерний центр і виробитель автокомпонентів /А.В. Белогуб, А.С. Стрибуль, А.А. Зотов, А.Г. Щербина // The 3rd Korea-Ukraine gas turbine technology symposium (November 20-23 2006). – Korea, 2006. – P. 70-77. *Здобувачем виконано методологічну частину роботи.*
31. Белогуб А.В. Новые поршни для семейства двигателей MeM3 /А.В. Белогуб, А.С. Стрибуль // Автомобильная промышленность. – 2007. – № 4. – С. 7-9. *Здобувачем виконано постановку задачі, запропоновано методіку проектування, виконано аналіз результатів проектування та впровадження у виробництво. Запропоновано вдосконалені конструкції поршнів.*

АНОТАЦІЇ

Білогуб О.В. Науково-технічні основи інтегрованого проектування і виробництва тонкостінних поршнів ДВС. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки. Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, 2011.

Дисертація присвячена розробці науково-технічних основ комп'ютерно-інтегрованого проектування і виробництва тонкостінних поршнів ДВЗ, і на цих засадах створення комплексу методів і методик, які дозволяють забезпечити заданий рівень якості продукції при зменшенні витрат на проектування, виробництво, експлуатацію при скороченні часу проходження етапів життєвого циклу, що передують експлуатації, тобто системно гарантують вихід нових конструкцій на ринки збуту. Запропоновано принципово нові підходи до проектування, пов'язані з профілюванням внутрішньої і зовнішньої поверхонь поршня, що базуються на концепції гарантованого забезпечення надійності вдосконаленої конструкції в порівнянні з аналогом. Розроблено метод синтезу системи базових поверхонь поршня, що враховує його навантаження як в процесі виробництва, так і під час роботи ДВЗ.

Розроблено узагальнений маршрут переважно паралельної підтримки проекту і технологію їх наскрізного паралельно-послідовного проектування, постановки на виробництво і виробництва, встановлені залежності, що зв'язують якість тонкостінних поршнів ДВЗ і якість траєкторії їх проектно-виробничого середовища з визначальними конструктивно-технологічними параметрами варійованих конструкцій, запропонована система рекомендацій по синтезу нових технологій виготовлення поршня, включаючи вдосконалення процесу отримання заготовки та її механічної обробки, показана необхідність спільного конструювання поршня і оснащення для його виготовлення.

Ключові слова: ДВЗ з примусовим запалюванням; тонкостінний поршень; життєвий цикл; проектування, конструювання, виробництво поршнів; технологія виробництва поршнів; ресурс двигунів.

Белогуб А.В. Научно-технические основы интегрированного проектирования и производства тонкостенных поршней ДВС. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.03 – двигатели и энергетические установки. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2011.

Диссертация посвящена разработке научно-технических основ компьютерно-интегрированного проектирования и производства тонкостенных поршней ДВС, и на этих началах созданию комплекса методов и методик, которые позволяют обеспечить заданный уровень качества продукции при уменьшении затрат на проектирование, производство, эксплуатацию при сокращении времени прохождения этапов ЖЦ, предшествующих эксплуатации, то есть системно гарантируют выход новых конструкций на рынки сбыта. Предложены принципиально новые подходы к проектированию, связанные с профилированием внутренней и внешней поверхностей поршня, базирующихся на концепции гарантированного обеспечения надежности совершенствуемой конструкции в сравнении с аналогом. Разработан метод синтеза системы базовых поверхностей поршня, учитывающий его нагружение как в процессе производства, так и при работе ДВС.

Показано, что есть острая необходимость перехода от концепции гарантированного обеспечения прочности конструкций поршня к концепции постоянного их совершенствования на основе обеспечения совокупности определяющих критериев качества, а также от концепции оптимального конструкторско-технологического проектирования поршней к концепции системной поддержки ЖЦ их конструкций. При этом решение проблемы повышения технического уровня и эффективности изготовления новых конструкций тонкостенных поршней, обеспечение конкурентоспособности национальных производителей необходимо связывать с разработкой системного подхода поддержки ЖЦ конструкций, основанного на методах и средствах компьютерно-интегрированного проектирования и производства.

На основе раскрытых теоретических аспектов системной оценки качества функционирования и создания тонкостенного поршня ДВС впервые разработан обобщенный маршрут преимущественно параллельной сквозной стратегии поддержки проекта в проектно-производственном комплексе и сформулированы концептуальные положения повышения эффективности ЖЦ тонкостенного поршня ДВС. На основе расширения единого информационного пространства поршня ДВС выполнена детализация интегрированной технологии проектирования поршня, основой которой являются этапы разработки и выбора математических моделей, анализа и оптимизация проектно-производственной среды. Показано, что учет полного набора элементов геометрической модели без какого-либо ее упрощения следует отнести к специфике проектирования тонкостенного поршня ДВС. Предложена неалгоритмическая методика получения геометрических моделей тонкостенных

поршней, основанная на использовании проектировщиком нечетких смысловых отношений. При этом проектировщик не имеет каких-либо ограничений, накладываемых на область поиска предпочтительных конструктивных параметров, кроме сформулированных в общей задаче проектирования. Разработана система предпочтений формирования его внутренних поверхностей, в т.ч. несимметричных. Это рекомендации, связанные с конструкторским проектированием, сформированы на основе взаимосвязи между геометрией элементов, массой и термомеханической напряженностью конструкции, которая модельно определена как совокупность режима максимальной мощности и максимального момента. В составе переменных проектирования тонкостенного поршня ДВС учтено множество параметров технологического процесса и собственно траектории проектно-производственной среды.

Испытания ряда разработанных конструкций тонкостенных поршней показали, что технология синтеза их внешней поверхности, учитывающая локальную жесткость поршня не требует дальнейшей экспериментальной доводки.

Описанный подход не только позволил уверенно прогнозировать рыночные перспективы разрабатываемых поршней, но и существенно повысить производительность труда инженерно-технического персонала предприятия.

Ключевые слова: ДВС с принудительным воспламенением; тонкостенный поршень; жизненный цикл; проектирование, конструирование, производство поршней; технология производства поршней; ресурс двигателей.

Belogub A.V. Scientific and technical bases of integrated designing and manufacturing of thin-walled piston engine. - Manuscript.

Thesis for the degree of doctor of technical sciences, specialty 05.05.03 - engines and power plants. National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, 2011.

The thesis is devoted to scientific and technical bases of computer-integrated of the designing and manufacturing of thin-walled piston engine, and creating of the complex of methods and techniques, which based on these principles, that allow a given level of product quality at lower cost to design, manufacture, operation, while reducing travel time steps LC prior to the operation that is systematically ensure the release of new structures on the markets. We propose fundamentally new approaches to the designing associated with the profiling of the inner and outer surfaces of the piston based on the concept of guaranteed reliability perfected the design in comparison with analogue. The method of synthesis of the base surfaces of the piston, taking into account its loading in the process of production and work with ICE is developed.

Developed a generalized route of the predominantly parallel support for the project and the technology of their pass-through parallel-sequential design, of the implementation in production and production, relations which link the quality of thin-walled piston engines and the quality of the trajectory of their design and production environment with the defining structural and technological variable parameters of construction is set, a system of recommendations the synthesis of new manufacturing technologies of the piston, including

the improvement of production process of piston billet and its machining was proposed, shows the need for joint designing of the piston and the tools for its manufacture.

Keywords: internal combustion engines with forced ignition, thin-walled piston; life cycle; design, construction, manufacturing pistons, piston production technology; engine resource.

Відповідальний за випуск к.т.н. Зотов О.О.

Підписано до друку 10.11.2011 г. Формат видання 145x215.
Формат бумаги 60x90/16. Папір . Печать – ризографія.
Об'єм 1,9 авт. арк.. Зам. № _____. Тираж 100 прим.

Видання та друк Федорко М.Ю.
Харків, вул. Сумська,4, оф. 135
тел.: (057) 758-19-46, 755-59-18
e-mail:drint@ukr.net