

УДК 621.43.016.4(031)

Гудз Г.С., д.т.н., Глобчак М.В., к.т.н., Коцюмбас О.Й., інж.

Інститут інженерної механіки і транспорту НУ «Львівська політехніка»,
м. Львів**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРНИХ
ПОЛІВ У АВТОМОБІЛЬНИХ ГІЛЬЗАХ ЦИЛІНДРІВ***У статті висвітлені принципи створення математичної моделі автомобільної гільзи
циліндрів.***Постановка проблеми**

Робочий процес двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) полягає у безперервному повторенні термодинамічного циклу, в результаті якого деталі двигуна знаходяться в періодичному нестационарному стані. Тому для конструктора значний інтерес представляють більш глибокі уявлення про термодинамічні процеси, що протікають в елементах ДВЗ за варіювання геометричних розмірів гільз.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Термодинамічні процеси у ДВЗ достатньо ґрунтовно висвітлені у фундаментальних працях М.Х. Дяченка, О.К. Костіна, А.С. Орліна, В.А. Сиволапова [1-4], але в них не розглянуті питання впливу геометричних параметрів гільз на їх температурний режим.

Мета статті

Метою роботи є створення математичної моделі гільзи циліндрів, яка б з достатньою точністю дозволила дослідити температурні поля у гільзах циліндрів при їх різних ремонтних розмірах.

Виклад матеріалу

При дослідженні динаміки температурних полів у ДВЗ необхідно розв'язати систему рівнянь у часткових похідних, які описують процеси тепломасопереносу в складних об'єктах з розподіленими параметрами:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_1(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_1(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda_1(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial z} \right] + q(x, y, z) = c_1 \rho_1 \frac{\partial t}{\partial \tau}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_2(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_2(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda_2(x, y, z, t) \frac{\partial t}{\partial z} \right] = c_2 \rho_2 \frac{\partial t}{\partial \tau}, \quad (2)$$

де 1, 2 — індекси, що відповідають 1 — матеріалу циліндра (1), 2 — охолоджувальному середовищу (2); $\lambda_i(x, y, z, t)$, ($i=1,2$) — коефіцієнти теплопровідності; $q(x, y, z)$ — густина теплового потоку; $c_i(x, y, z, t) \rho_i(x, y, z, t)$, ($i=1,2$) — об'ємна теплоємність; t — температура, τ — час; x, y, z — поточні координати.

Оскільки система рівнянь (1) — (2) належить до нестационарних контактних задач в областях неklasичної форми при неоднорідних граничних та складних початкових умовах, то вона не має точного аналітичного розв'язку.

В наш час для задач, які не мають розв'язку в замкнутій аналітичній формі, або коли отримані розв'язки настільки складні, що не можуть бути використані для практичного розрахунку, широко застосовуються методи математичного моделювання.

Математичне моделювання має наступні переваги:

- уточнює і поглиблює уявлення про робочі процеси ДВЗ;
- виявляє зміст різних параметрів, що описують процес, і їх вплив на ефективність роботи і показники двигуна;
- зменшує обсяг і тривалість необхідних експериментальних досліджень внаслідок зменшення кількості змінних, які потрібно визначити експериментально;
- пришвидшує розрахунки різних вузлів і агрегатів двигуна;
- дозволяє обчислити такі параметри, експериментальне визначення яких супроводжується великими труднощами;
- забезпечує оперативну зміну різних параметрів в розрахунках, що важко або неможливо зробити під час експериментальних досліджень;
- дозволяє систематизувати результати досліджень.

Математичне моделювання є ефективним, а іноді практично єдиним засобом отримання числового матеріалу, що характеризує досліджуваний процес. Під час порівняння результатів розрахунків з даними експерименту послідовно уточнюється модель, визначаються сфера і можливості її застосування. Математичне моделювання може слугувати як експеримент. Експериментування на математичній моделі збільшує можливості виявлення і вивчення своєрідних особливостей процесу, що дозволяє зберегти час, кошти і сили. Адже змінювати умови і повторювати експеримент доводиться інколи сотні разів, аж поки буде знайдений прийнятний розв'язок задачі. На основі аналізу і цілеспрямованого пошуку з використанням математичної моделі і ПК визначаються кращі шляхи досягнення мети.

Недоліками методу математичного моделювання можна вважати наступні:

- достовірність розрахункових результатів залежить від повноти і точності вихідних даних і адекватності прийнятих допущень;
- для пришвидшення розрахункових досліджень часто приймаються спрощені моделі, що знижує точність розрахунків;
- необхідні попередні експериментальні дані.

Точність результатів розрахункового дослідження залежить від чисельних методів розв'язку рівнянь і спроможності викладу в математичній формі складних граничних умов, достовірності використаних у моделі вихідних дослідних даних і початкових умов. Застосування сучасної обчислювальної техніки відкриває нові можливості, дозволяє здійснювати моделювання, розрахункове дослідження з метою вивчення і вдосконалення робочих процесів та оптимізацію конструктивних параметрів ДВЗ.

В Інституті проблем моделювання в енергетиці НАН України для розв'язування задач стосовно процесів тепломасопереносу розроблений програмний комплекс, який дозволяє дослідникам, інженерам - проектувальникам і експлуатаційникам без попереднього програмування розв'язувати двовимірні і тривимірні задачі тепломасопереносу в діалоговому режимі і отримувати результати в наочному і зручному для використання вигляді [5].

Після входу в оболонку необхідно задати кількість вузлів за осями координат і встановити клас розв'язуваних задач. В конфігураторі слід "намалювати" конфігурацію (форму) досліджуваної області, як зовнішню, так і внутрішню, задати умови однозначності в таблицях скалярів і векторів, які викликають на екран монітора. Врахування особливостей конфігурації, початкових і граничних умов програмний комплекс здійснює автоматично.

Користувач має можливість вибрати з набору запропонованих методів кінцевих різниць найбільш ефективний. В процесі розв'язування можна змінювати умови однозначності, вносити корективи в конфігурацію області, змінювати крок в часі і просторі, фізичні коефіцієнти, що допомагає пришвидшити отримання результату. Останній можна виводити на екран

після кожної ітерації, тимчасового кроку або заданого проміжку часу і спостерігати у вигляді еквіпотенційних ліній, кольорової гами фізичних полів, таблиць чисел. На будь-якому етапі результат можна запам'ятати і, при необхідності, продовжити процес дослідження.

Для цього програмного комплексу за участю авторів доопрацьований розрахунковий модуль для дослідження температурних полів в ДВЗ під час їх роботи на різних режимах.

Початкові умови

Оскільки змінюватиметься розв'язок для загального випадку, то враховуватимемо початкові умови, з яких як окремий випадок отримують розв'язок для квазістаціонарного стану.

Програмою передбачена можливість задавати початкові умови в кожному вузлі масиву. Для зручності програмою передбачено задавання початкових умов ще за двома варіантами.

Наприклад, при варіанті 9 однорідні початкові умови по всьому масиву з верхнього кута масиву температур, а при варіанті 10 — неоднорідний початковий розподіл температур за рядками масиву проводиться з першого стовпця масиву.

Передбачено також завдання λ і c_p . Варіант 6: завдання c_p по всьому масиву з кута таблиці об'ємної теплоємності, а варіант 3 — c_p за рядками. Варіант 2 передбачає завдання теплового потоку за рядками, а варіант 5 — λ , c_p і теплового потоку за рядками.

Граничні умови першого роду

Ця умова полягає в завданні розподілів температури на поверхні тіла у будь-який момент часу, тобто $t_{F,\tau} = t_{F,\tau}(x, y, z, \tau)$. Окремий випадок полягає в завданні сталої температури на поверхні впродовж усього процесу теплообміну, тобто $t_{F,\tau} = \text{const}$.

Програмою передбачено завдання температури і фіксацію її значення в будь-якому вузлі модельованої області, а також завдання температури за рядками (варіант 10) з фіксацією значень в потрібних вузлах і ліквідування значень, де граничні умови першого роду відсутні.

Граничні умови другого роду

Ця умова полягає в завданні густини теплового потоку для всієї поверхні тіла і для кожного моменту часу $q_{F,\tau} = q_{F,\tau}(x, y, z, \tau)$. Програмою передбачено завдання густини теплового потоку за рядками (варіанти 2 і 5).

Граничні умови третього роду

Ця умова полягає в завданні у функції від часу температури середовища $t = t(\tau)$, що омиває дану поверхню тіла, і закону теплообміну між поверхнею тіла і навколишнім середовищем

$$q = \alpha [t(\tau) - t_{F,\tau}], \quad (3)$$

де α — коефіцієнт тепловіддачі.

Кількість теплоти, що віддається елементом поверхні тіла навколишньому середовищу (або навпаки, отримується від середовища) за момент часу, за законом збереження енергії має дорівнювати кількості теплоти, яка шляхом теплопровідності надається елементу тіла за цей же проміжок часу з боку внутрішніх частин цього тіла (або, відповідно, віддається всередину від поверхні тіла).

Програмою передбачено автоматичну зміну числового значення коефіцієнта λ в залежності від температури згідно з лінійним або експоненціальним законами. Проте врахування зміни теплопровідності ускладнює розв'язування. Тому у всіх випадках, коли ця залежність не має суттєвого впливу на кінцевий результат, величиною λ оперують як сталою.

Програмою реалізується циклічне завдання результуючої за теплопередачею температури газів під час робочого ходу і випуску з боку камери згоряння t_p і результуючої температури пальної суміші під час впуску і стиску t_b , яка фіксується на межі моделі за час Δt .

Завдання інтервалів часу визначається кількістю обертів двигуна в секунду і крок за часом Δt повинен відповідати часу, впродовж якого здійснюється половина оберту або повний оберт колінчатого валу залежно від зміни заданої результуючої за теплопередачею температури. Завдання проміжку часу τ визначається кількістю обертів (або тактів) двигуна, яку потрібно здійснити до виміру температури. Таким чином, значення температури під час розв'язування можливо визначати через половину оберту двигуна або будь-який проміжок часу.

На рис. 1 показана схема теплових потоків, що мають місце при робочому процесі в гільзі циліндрів.

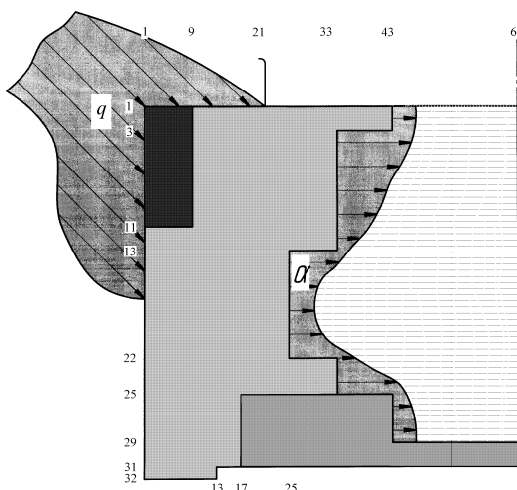


Рис. 1. Схема теплообміну на поверхнях гільзи циліндрів

Об'єктом для моделювання слугує гільза циліндра двигуна ЗМЗ-53. Кроки за осями x та y прийняті $0,00025$ м і відповідають міжремонтному інтервалу $0,5$ мм, тобто $0,25$ мм на сторону, крок за віссю z — $0,005$ м.

Створений за допомогою програмного комплексу конфігуратор гільзи циліндрів показаний на рис. 2.

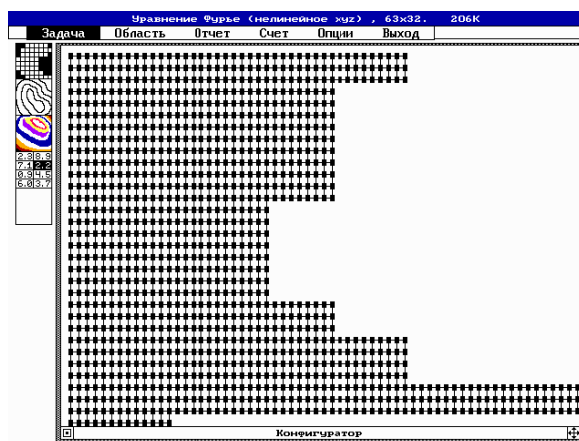


Рис. 2. Конфігуратор гільзи циліндрів двигуна ЗМЗ-53

Крок за часом $\Delta t = 0,0375$ с відповідає одному циклу (двом обертам) колінчатого валу на номінальному режимі за $n = 3200$ xv^{-1} . На внутрішній поверхні циліндра задані граничні умови другого роду, а на зовнішній — граничні умови третього роду. Коефіцієнти теплопровідності [6] чавунної гільзи $\lambda_1 = 47$ $Bm/(m \cdot K)$, охолоджувального середовища $\lambda_2 = 0,68$

$Bm/(m \cdot K)$; об'ємної теплоємності — $c_1\rho_1 = 3600000$ і $c_2\rho_2 = 4100000$ Дж/($m^3 \cdot K$) відповідно. Квазістаціонар настає наближено за хвилину після початку перехідного процесу.

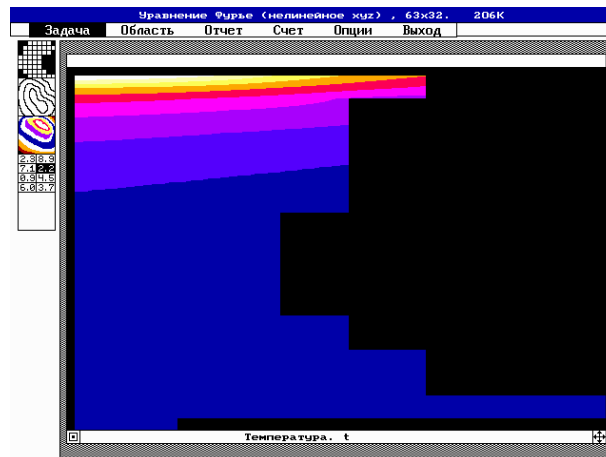


Рис. 3. Температурне поле гільзи циліндрів двигуна ЗМЗ-53

На рис. 3 показано якісне температурне поле гільзи циліндрів. Слід зазначити, що яскравішому кольору відповідають вищі температури, а темнішому — нижчі.

Для дослідження впливу різних чинників на температурне поле гільз циліндрів слід зробити перевірку адекватності моделі за ідентифікацією граничних умов при натурних випробуваннях.

Висновок

Створена математична модель гільзи циліндрів і показана її працездатність.

Список літератури

1. Дьяченко Н.Х. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей / Н.Х. Дьяченко, С.Н. Дашков, А.К. Костин, М.М. Бурин; под ред. С.Н. Дашкова. — Л.: Машиностроение, 1969. — 248 с.
2. Костин А.К. Теплонапряженность двигателей внутреннего сгорания / А.К. Костин, В.В. Ларионов, Л.И. Михайлов; под ред. А. К. Костина. — Л.: Машиностроение, 1979. — 222 с.
3. Вырубов Д.Н. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. — М.: Машиностроение, 1983. — 372 с.
4. Сиволапов В.А. Исследование процессов теплопередачи в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания / В.А. Сиволапов, А.Г. Тарапон // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць ІПМЕ НАН України. — Вип. 3. — 2000. — К. — С. 10-15.
5. Сорокин Н.А. Программный комплекс для моделирования процессов теплопереноса при аварийных ситуациях / Н.А. Сорокин, А.Г. Тарапон, В.О. Тернавский // Методы и средства компьютерного моделирования. — К.: ИПМЭ НАНУ, 1997. — С. 58-60.
6. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник / под общ. ред. В. А. Григорьева и В.М. Зорина. — М.: Энергоиздат, 1982. — 512 с.

Стаття надійшла до редакції 21.05.09
© Гудз Г.С., Глобчак М.В., Коцюмбас О.Й., 2009