

Мазін В.О., к.т.н.

Запорізький НТУ, м. Запоріжжя

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В КОЛЕКТОРАХ ДВЗ: ОСОБЛИВОСТІ І ВПЛИВ НА ОСНОВНІ ПРОЦЕСИ

Виконано аналіз теплопередачі у випускному колекторі на сталих режимах ДВЗ. Враховано мінливість поверхні частини активної течії і застійної зони, особливості змішування газових потоків різних циліндрів і теплову інерційність матеріалу. Розроблено розрахункову схему, встановлені значимі фактори і послідовність визначення складових коефіцієнта теплопередачі.

Вступ

Робоче тіло (РТ) ДВЗ обмінюється теплотою з навколишнім середовищем (НС) через розділову стінку, з погляду ступеня нагрівання і площі поверхні інтерес представляють циліндр і колектори. Теплопередача в циліндрі досить вивчена, є формули розрахунку коефіцієнта тепловіддачі [1]. Колекторам належної уваги не приділено і це притому, що теплота, інтенсивність обміну і рівень температур порівнянні з циліндром (у випускного, насамперед).

Процеси в колекторах відбуваються на фоні теплопередачі, від впливу якої неможливо звільнитися, потрібно тільки пристосовуватися. У випускному колекторі (ВпКр) від неї залежать наповнення циліндра і якість сумішоутворення, у випускному колекторі (ВКР) — енергія газу, що направляєється в турбіну, і температура НС. Оскільки ДВЗ розміщуються в обмежених просторах (під капотом автомобіля, у боксі іспитової чи енергетичної станції), їхня ефективність замикається на стані НС.

Пристосуватися в даному випадку — значить контролювати і керувати. Практично це виражається в обґрунтованому проектуванні самих нагрітих деталей ДВЗ, приміщення, теплової ізоляції і системи вентиляції. Отже, повинна бути можливість прогнозування рівня і різниці температур деталей ДВЗ і НС, оскільки від цього залежить інтенсивність теплопередачі.

Стан РТ у кожній точці проточної частини у будь-який момент часу визначається з високою точністю за допомогою відомих фізико-математичних моделей, для НС такий розрахунок не складний: потрібні розміри об'єктів, дані про матеріали (теплофізичні характеристики) і т.п. Схема теплопередачі через розділову стінку досить вивчена, існує теорія. Ускладнення пов'язані з визначенням коефіцієнтів теплопередачі колекторів.

Звичайно їхні значення встановлюють по аналогії з прототипом чи експериментально [2-4]. В обох випадках не гарантується належна точність. Такі експерименти, крім того, трудомісткі і вимагають певних витрат. У роботах [4-6] зроблена спроба розрахунку коефіцієнта тепловіддачі, однак результат не отриманий. Роботи [7-12] присвячені змішуванню газових потоків різних циліндрів у колекторах, питання теплопередачі в них не зачіпаються.

Мета статті

На даному етапі актуально розробити метод розрахунку коефіцієнта теплопередачі для колекторів ДВЗ, що гарантує адекватні достовірні результати. ВпКр являє собою однозахідну трубу з декількома виходами, ВКР — навпаки многозахідну трубу з одним виходом. У загальному випадку це відкриті термодинамічні системи [1]. Теплові процеси в колекторах подібні за природою. У ВКР вони більш виражені через значний температурний напір, тому є сенс розглянути розрахунок саме на його прикладі.

Виклад основного матеріалу

Інтенсивність теплопередачі в кожен момент часу і по поверхні ВКР не однакова, залежить від частоти циклів, порядку роботи циліндрів, типу випускної системи (ізобарна, імпульсна), особливостей змішування газових потоків і теплової інерційності матеріалу (температуропровідності). Вона характеризується коефіцієнтом теплопередачі, що для ВКР залежить від багатьох конструктивних і експлуатаційних (теплотехнічних) факторів, які у більшості змінюються по довжині. Конструктивні — відбивають особливості робочого циклу ДВЗ, організації випускної системи і конструкції ВКР: частоту циклів і випусків, форму і площу перерізу, форму каналу, включаючи орієнтацію подовжньої осі в просторі, повороти, скруглення і суперпозицію в періоди перекриття випусків з різних циліндрів, товщину стінки. Експлуатаційні — відображають умови і визначають спосіб теплопередачі: природу, склад, наявність багатоатомних газів, стан і режим течії РТ, температуру стінки.

Між РТ і ВКР має місце конвективний теплообмін і теплове випромінювання (радіація). Конвективний теплообмін розрізняється з режимом руху РТ відносно поверхні [13], а теплове випромінювання — з його складом (наявність і концентрація багатоатомних газів: 3-х і більше) і станом [14]. Через динамічний стан РТ конвективний теплообмін може бути двох видів: змушений (переважно) і вільний.

У зв'язку з порядком роботи циліндрів і особливостями змішування розрізняють частину активної течії і застійну зону (не бере участь у випуску в поточний момент часу), ділянки вихідні, перекриття потоків і змішування (рис. 1а). Через взаємну орієнтацію ділянок, кінцеві розміри каналу і форму ділянки перекриття зустрічаються 2 види газодинамічних схем: 1) ділянка змішування є продовженням однієї з вихідних, і напрямки відповідних потоків збігаються, форма ділянки перекриття — прямокутний трикутник (рис. 1б); 2) вихідні потоки діють по одній лінії, напрямком потоку змішування не збігається з ними, форма ділянки перекриття — рівнобедрений (рівносторонній в окремому випадку) трикутник (рис. 1в); в обох випадках ділянка перекриття основою спирається на вхід зони змішування.

У тілі між поверхнями, що сприймає і віддає, має місце теплопровідність, коефіцієнт теплопровідності матеріалу залежить від температури. Віддача теплоти у НС розрізняється по довжині: на ділянці патрубка має місце змушений конвективний теплообмін з охолодженою рідиною водяної сорочки, на іншій частині — з повітрям НС змушений (при використанні вентилятора) чи вільний.

Стінка ВКР відстає від РТ, не встигає пристосовуватися через інерційність матеріалу і швидкоплинність змін РТ. Інерційність видозмінює образ температури газу в тілі і на поверхні тепловіддачі (поведінку і величину), кількісно виражається запізненням зміни в часі ($град/с$). При різних спо-

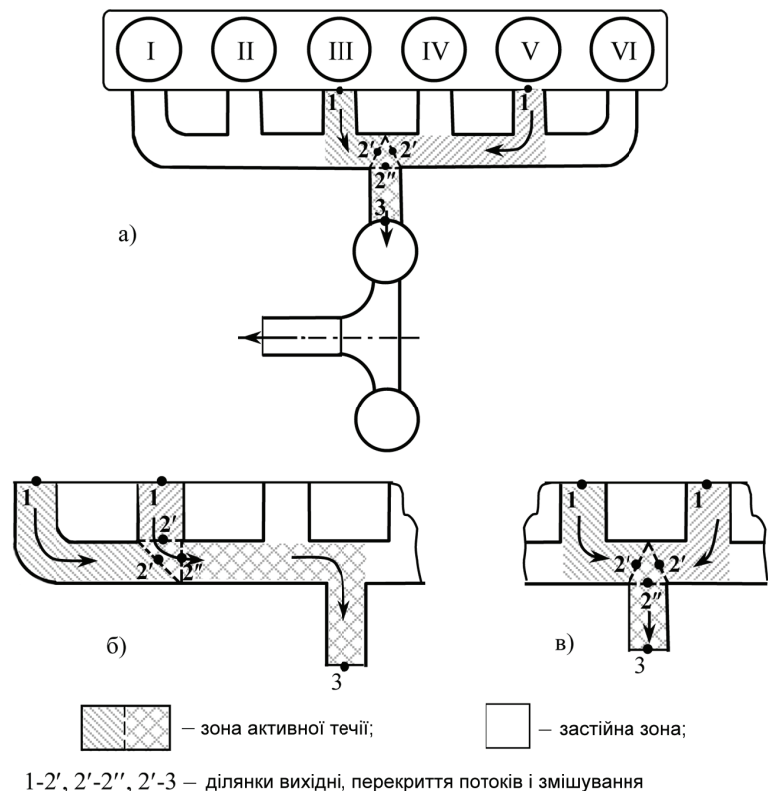


Рис. 1. До аналізу перекриття випусків з різних циліндрів

лученнях швидкості зміни температури газу і інерційності температура стінки повторює температуру газу цілком, частково чи встановлюється на деякому рівні і не міняється. Тому деякі теплові процеси цілком виправдано відносять до стаціонарних. Якщо відомі закономірності зміни температури газу і інерційності матеріалу, можна визначити температуру в будь-якому місці стінки.

Теплопередача у ВКР має місце в кожен період циклу незалежно від призначення ДВЗ, у дійсній роботі приводиться аналіз для сталих швидкісного і навантажувального режимів. Теплопередача на перехідних режимах, при запуску, розгоні, гальмуванні чи зупинці, має специфічні особливості динамічного характеру і повинна розглядатися окремо. На рис. 2 наведена розрахункова схема з урахуванням відзначених особливостей, де позначено: D , d , r , ℓ , $V_{ВКР}$ — конструктивні розміри ВКР: діаметри зовнішній і внутрішній, радіус скруглення, довжина по осі, об'єм; w_m , m_m , m_{0m} , (c_{CO_2} , c_{H_2O} , c_{NO_x}), p_m , T_m — швидкість потоку, масова витрата газу і чистих продуктів згоряння, концентрації складових випускного газу, тиск і температура газу; $\alpha_{wВКР}$, $T_{wВКР}$, $\alpha'_{wВКР}$, $T'_{wВКР}$, λ — коефіцієнти тепловіддачі і температури поверхонь що сприймають і віддають теплоту, коефіцієнт теплопровідності.

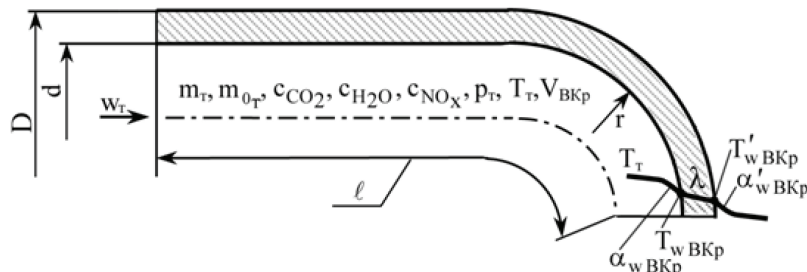


Рис. 2. Розрахункова схема

При математичному моделюванні теплопередачі для спрощення можуть прийматися припущення: проточна частина має форму циліндричної гладкої труби з поступовою (не стрибкоподібною) зміною перерізу по довжині; тиск змінюється у всьому об'ємі ВКР одночасно й одноманітно (однорідно), температура — тільки через зміну маси чи змішування; застійна зона непроникна і маса в ній не змінюється.

Розрахований коефіцієнт теплопередачі слід перевірити на вірогідність ідентифікації з дійсним значенням (експериментальним). У ході калориметрування оцінюється тепловий потік, вимірюються температури РТ і стінки в характерних місцях. До монтажу термопар при цьому пред'являються наступні вимоги: спай розміщується безпосередньо в місці виміру температури (поблизу — у крайньому випадку), забезпечується надійний контакт спаю і тіла ВКР, місце зварювання ретельно обробляється: щоб поверхня була ідентична вихідній, не утворився місцевий опір і не змінилася газодинамічна структура потоку [15]. Результат може бути представлений у вигляді функції за довжиною і кутом ПКВ (часом) чи середнім значенням за цикл.

Запропонований підхід до розрахунку коефіцієнту теплопередачі доцільний для зменшення теплових втрат у ВКР і збільшення енергії на валу турбіни [16] за рахунок ефективного використання теплової ізоляції і впровадження критичного діаметра. Він може бути корисний при вивченні температурної релаксації [17, 18] і з'ясуванні співвідношення швидкості зміни температури РТ й інерційності матеріалу ВКР з умови підтримки постійної температури на поверхні тепловіддачі, при визначенні зміни температури у відповідальних перерізах.

Висновки

1. Аналіз показав: визначити коефіцієнт теплопередачі ВКР розрахунковим чином складно через значну кількість факторів і різнорідних особливостей, недостатню вивченість й утруднення з обліком.

2. На першому етапі є сенс обмежитися рішенням внутрішньої задачі: визначити коефіцієнт тепловіддачі між РТ і сприймаючою поверхнею ВКР і лише після виконання цього приступати до розгляду й обліку теплопровідності в тілі і тепловіддачі у навколишнє середовище.

Список літератури

1. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Д.Н. Вырубов, Н.А. Ивашенко, В.И. Ивин и др. / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. — М.: Машиностроение, 1983. — 372 с.
2. Ивин В.И. Физическая картина и метод расчёта теплообмена в элементах выпускной системы двигателя / В.И. Ивин, Л.В. Грехов // Двигателестроение. — 1988. — № 12. — С. 16.
3. Ивин В.И. Методические особенности измерения местной мгновенной температуры газа в выпускных каналах ДВС / В.И. Ивин, Л.В. Грехов // Двигателестроение. — 1986. — № 7. — С. 47-50.
4. Бравин В.В. Достоверность измерения мгновенных температур отработавших газов контактным способом / В.В. Бравин, Ю.Н. Исаков, Ю.Ю. Кочинев // Двигателестроение. — 1987. — № 7. — С. 28-30.
5. Ивин В.И. Теплообмен в выпускном канале ДВС при закрытом клапане / В.И. Ивин, Л.В. Грехов // Двигателестроение. — 1987. — № 4. — С. 3-6.
6. Диагностика, повышение эффективности, экономичности и долговечности двигателей: тезисы докл. научно-техн. семинара СНГ / Ленинградск. обл. правл. рос. научн.-техн. общ. сельского хоз., Санкт-Петербургский гос. аграрн. ун-т. — Санкт-Петербург: СПГАУ, 1992. — 100 с.
7. Гусев А.В. Нестационарное течение газа в разветвлениях системы воздухообеспечения двигателей внутреннего сгорания: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / А.В. Гусев. — М.: МВТУ, 1981. — 16 с.
8. Круглов М.Г. Метод распад-разрыва в применении к расчёту газоздушного тракта ДВС / М.Г. Круглов, И.К. Яушев, А.В. Гусев // Двигателестроение. — 1980. — № 8. — С. 19-21.
9. Круглов М.Г. Расчёт параметров отработавших газов в системе цилиндр-трубопровод одноцилиндрового двигателя / М.Г. Круглов, А.В. Гусев // Двигателестроение. — 1980. — № 11. — С. 19-20.
10. Гришин Ю.А. Методы расчёта разветвлённых систем газообмена ДВС / Ю.А. Гришин, А.В. Гусев, М.Г. Круглов // Двигателестроение. — 1981. — № 1. — С. 1-12.
11. Гусев А.В. Расчётно-экспериментальное исследование течения газа в разветвлениях газоздушного тракта / А.В. Гусев, М.Г. Круглов, А.А. Меднов // Двигатели внутреннего сгорания. — Харьков: ХПИ, 1985. — Вып. 42. — С. 9-12.
12. Гусев А.В. Нестационарное течение газа в разветвлениях газоздушного тракта / А.В. Гусев, М.Г. Круглов, С.В. Павлов // Двигатели внутреннего сгорания. — Харьков: ХПИ, 1985. — Вып. 42. — С. 3-7.
13. Михеев М.А. Краткий курс теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. — М., Л.: Госэнергоиздат, 1960. — 208 с.
14. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / Нащокин В.В. — М.: Высш. школа, 1980. — 469 с.
15. Костин А.К. Погрешность измерения температуры тепловоспринимающей поверхности при различной заделке термодинамики / А.К. Костин, Л.И. Михайлов, Ж.К. Алин // Двигателестроение. — 1982. — № 8. — С. 29-31.
16. Кукис В.С. Некоторые результаты утилизации теплоты отработавших газов ДВС с помощью двигателя Стирлинга / В.С. Кукис // Двигателестроение. — 1991. — № 12. — С. 42-43.
17. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов: 17000 сл. — М.: ООО «Русские словари»; ООО «Издательство Астрель»; ООО «Издательство АСТ», 2003. — 957 с.
18. Ніколаєнко А.М. Російсько-українсько-англійський тлумачний словник з хімії / А.М. Ніколаєнко. — Харків: Прапор, 1999. — 176 с.

Стаття надійшла до редакції 09.10.09
© Мазін В.О., 2009