Гащук Петро Миколайович, д-р техн. наук, професор
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Нікіпчук Сергій Вячеславович, старший викладач, nikipch@gmail.com
Національний університет «Львівська політехніка»

СТЕНДОВО-АНАЛІТИЧНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ЯВИЩ, ЩО ПЕРЕБІГАЮТЬ У ДВИГУНІ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Проблема хімічного й теплового забруднення довкілля двигунами внутрішнього згоряння хоч якого призначення, та особливо автомобільними, спонукує до пошуку технічних засобів підвищення ефективності згоряння суміші в їх робочих просторах. Втілення цих спонук потребує, перш за все, створення можливостей багатократного відтворення процесу згоряння в циліндрах двигуна за різних керованих умов та володіння апаратом адекватного (на рівні теорії) аналізу наслідків планованої зміни обставин теплового енерговиділення.

Вимірювальна техніка ідентифікує далеко не завжди саме те, чого насправді хоче дослідник, а відтак постає необхідність досліджувати термодинамічні явища в циліндрах двигуна ще й аналітичними засобами, хоча «мова аналітики» не цілком ідентична «мові досліду». Отож існує нагальна потреба системно залучити в модельне середовище експериментально-стендові та комп'ютерно-аналітичні засоби пізнання закономірностей перетворення речовинної енергії в теплову, а далі – в механічну.

Звісно, існує дуже багато способів відображення процесу згоряння в аналітичній формі. Приміром, деякі дослідники зосередили увагу на визначенні швидкості згоряння суміші за допомогою рівнянь хімічних реакцій пального з повітрям. Інші навіть спробували моделювати закон впорскування пального в двигуні й обчислювати швидкість перетворення енергії на підставі визначення розмірів та закономірностей поширення крапель пального в робочому просторі двигуна. Інколи на засадах біомолекулярної теорії окиснення висновують залежності, які пов'язували б швидкість згоряння із законом надсилання свіжого пального, беручи до уваги також існування частки вже спаленого пального. Тощо-тощо… Та всі ці моделі вимушено спираються на надмірно велику кількість вмотивованих спрощень, які зумовлюють помітні та далеко не завжди контрольовані відхилення модельного процесу від реального.

Виявляється, що моделювання теплових процесів в циліндрі двигуна можна звести до вимірювання там тиску газів стендовими засобами з паралельним у реальному часі аналітичним відтворенням перебігу теплотворення, а потім навпаки, взявши за основу експериментально зафіксовані мовою дослідів перебіги теплотворення, розрахувати тиск газів у циліндрі. Це дає змогу задовільно якісно відкалібрувати машинно-аналітичну модель енергоперетворення. Перевагою такого (загалом вимушеного) моделювання є відносно висока точність результатів розрахунків та можливість вивчення впливу різних чинників (чи параметрів, що їх характеризують) на процес теплотворення без залучення для цього складних й глибоких експериментальних вимірювань.

Для розрахунку теплових явищ, що перебігають у циліндрах двигуна, є підстави застосовувати, перш за все, систему трьох рівнянь: рівняння закону збереження енергії, рівняння закону збереження речовини та рівняння термодинамічного стану. Тож доводиться оперувати чотирма змінними величинами: тиском газів у циліндрі, температурою робочого тіла, енергією, яка міститься в робочому тілі, та масою робочого тіла. Тому модельну систему рівнянь необхідно доозначити або якимсь додатковим рівнянням, або інформаційно, задаючи функцію зміни в часі однієї з перелічених величин. Такою функцією є, зокрема, відображувана індикаторною діаграмою взаємна зміна тиску і об'єму.

Найчастіше для моделювання термодинамічних процесів застосовують так звану однозонну модель, коли робоче тіло, займаючи певний робочий простір, всюди в ньому залишається однорідним (гомогенним). Вона сприймається як точна за фізичним змістом і адекватна за кількісними ознаками, коли йдеться про відображення теплових процесів на гальмівних режимах роботи двигуна без надання йому пального або якщо її використовують для моделювання процесу газообміну. Та для моделювання активних теплових процесів, зумовлених спалюванням пального, більше підходить двозонна модель, коли модельна камера згоряння поділена безмежно тонким шаром полум'я на дві зони, які між собою різняться хімічним складом та станом (термодинамічними параметрами) робочого тіла – зона спаленої суміші знаходиться позаду фронту полум'я, а зона горіння попереду нього.

Дослідження засвідчили, що процес теплотворення доцільно аналітично описувати формулою І. Вібе в тому разі, коли можна відмовитись від жорсткого тлумачення параметра, що характеризує повноту згоряння. Тоді вона найкраще зі всіх відомих залежностей поєднує в собі теоретично вмотивовану загальність, зручність використання, якісну змістовність, формальну адекватність. Застосування цього доволі простого виразу дає змогу ще й прослідкувати вплив трьох параметрів – миті початку згоряння, тривалості згоряння та так званого показника характеру теплотворення – на такі визначальні для адекватного оцінювання робочого процесу в двигуні інтегральні величини, як максимальні тиск та температура газів під час згоряння, середній індикаторний тиск, питома витрата пального, індикаторний коефіцієнт корисної дії тощо, якщо йдеться про проектування двигуна, або ж перевірити ефективність тепловикористання у вже існуючому двигуні.

Контроль за «спілкуванням» модельного комп'ютера зі стендом, що здійснював вимірювання температур за допомогою 186 термоелементів, вмонтованих в головку модельного циліндра, було з'ясовано, що широко вживане рівняння Вошні досить якісно описує втрати енергії через стінки циліндра в інтегральному сенсі, хоча й з відносно великим розкидом значень окремих параметрів. Натомість поточне відтворення процесу зміни теплових витоків через стінки циліндра в часі нема підстав вважати прийнятно якісним. Та на основі теорії подібності й результатів стендово-комп'ютерного моделювання вдається вибудовувати удосконалені рівняння, за допомогою яких вже можна належно точно аналітично відтворювати результати стендових вимірювань – як інтегральні, так і поточні в часі.