

Гащук Петро Миколайович, д.т.н., проф., Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Нікіпчук Сергій В'ячеславович, старший викладач, Національний університет «Львівська політехніка», nikipch@gmail.com

ЗАСТОСУВАННЯ HARD-SOFT-ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ В ДВИГУНІ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Аби якнайглибше проникнути в явище перетворення форм енергії у двигуні внутрішнього згоряння — речовинної (хімічної) на теплову, а далі — теплової на механічну, необхідна багата на когнітивні можливості й належно адекватна модель «постійно змінних» у часі внутрішньомоторних процесів. Створити таку модель суто аналітичними й алгоритмічними засобами, як з'ясувалось, навряд чи можливо, а тому завжди паралельно до теоретичних досліджень доводиться застосовувати ще й експериментальні, що вимагають використання спеціального стендового обладнання. В такому разі доцільно взагалі доєднати до аналітично-алгоритмічної моделі хоч якої структури ще й натуральний робочий простір якогось реального модельного двигуна. Такий підхід можна назвати hard-soft-технологією пізнання.

Технологічне поєднання натурності та віртуальності в моделюванні процесів, що перебігають у двигунах внутрішнього згоряння, відображає узагальнена принципова схема, наведена на рис. 1. Модельний робочий простір занурено у власне двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), якщо під ним розуміти сукупність усіх систем, що забезпечують нормальну активність робочого простору. Двигун разом з модельним робочим простором занурений у докілья Д (у свій життєвий простір ЖП), до якого належить, зокрема, й навантажувальний пристрій НП (з електричними, приміром, гальмом і двигуном) та вся сенсорна система. Перелічене разом — це так зване натурне середовище НС, яке зобов'язане «спілкуватись» з програмним середовищем ПС: все, що не може або не вміє сказати натурне середовище, зобов'язане через персональний комп'ютер ПК доповісти програмне середовище, і навпаки.

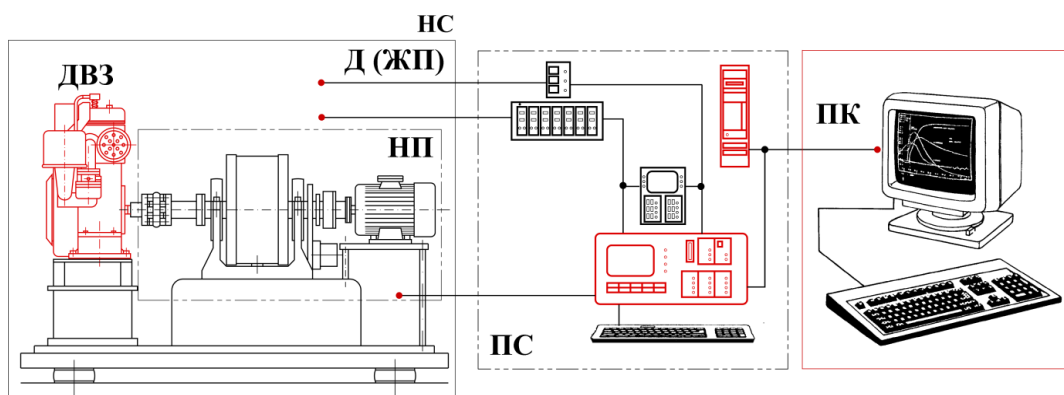


Рисунок 1 — Схема натурно-програмного модельного середовища

Процес тепловиділення ідентифікують розрахунками на основі знятої індикаторної діаграми, геометричних параметрів двигуна і термодинамічних характеристик робочого тіла. В підсумку одержують характеристику тепловиділення, яка сама по собі мало придатна для змістовної інтерпретації процесу згоряння. Тому для оцінювання й порівняння різних характеристик тепловиділення між собою застосовуються аналітичні формули.

Однією з найвдаліших і найчастіше використовуваних для опису процесу тепловиділення є напівемпірична функція І. Вібе, яка була висунута з огляду на опис кінетики хімічних реакцій. В двигунах швидкого згоряння (бензинових, приміром) процес тепловиділення можна вважати однофазним, тобто описуваним однією функцією І. Вібе. Натомість, процес згоряння в дизелях (приміром, у швидкісних з неподільною коморою згоряння) є радше двофазним, а отже з однаковою точністю в кожній фазі його можна описати хіба що двома функціями І. Вібе, перша з яких покликана відобразити аналітично фазу швидкого вибухового горіння, а друга — фазу повільнішого дифузійного згоряння. Та все ж hard-soft-технологія моделювання робочого процесу в двигуні внутрішнього згоряння дозволяє ідентифікувати процес теплотворення, більше покладаючись на безпосередньо виміряну інформацію. В такому разі апроксимаційні засоби (зокрема опис І. Вібе) доцільніше долучати до цієї інформації вже задля теоретичних узагальнень.

Неточність $\Delta\varphi$ визначення положення мертвих точок суттєво позначається, приміром, на ідентифікації процесу зміни інтенсивності тепловиділення унаслідок згоряння пального, рис. 2 (φ — кут повороту колінчастого вала; $Q_{пл}$ — питоме тепловиділення). Уникнути цієї похибки можна було б, поєднуючи, знову ж таки, експериментальні засоби дослідження з аналітико-алгоритмічними. Отже успіх будь-якого дослідження — чи теоретичного, чи експериментального — можливий тільки за умови системного поєднання натурності та аналітичності.

Виходячи з загального опису явища теплопередачі і базуючись на рівнянні теплопередачі Ньютона та теорії подібності $Q_{ст} = \alpha A(T_{г} - T_{ст})$, $Nu = C Re^m$, де

$$Nu = \frac{\alpha d}{\lambda} \text{ і } Re = \frac{w d \rho}{\mu},$$

формують загальне рівняння для визначення коефіцієнта тепловіддачі

$$\alpha = C d^{m-1} \lambda \left(\frac{w \rho}{\mu} \right)^m \Delta.$$

Тут α — коефіцієнт тепловіддачі; $Q_{ст}$ — тепло, віддане у стінки циліндра; A — площа поверхні тепловіддачі; $T_{г}$ — температура газів в циліндрі; $T_{ст}$ — температура стінок; Nu і Re критерії (числа) Нусельта і Рейнольдса; C і m — сталі (приймають, приміром, $m = 0,78$); d і w — характерні розмірний і

швидкісний параметри; λ — коефіцієнт теплопровідності; ρ — густина; μ — коефіцієнт в'язкості; Δ — коректувальний множник Г. Гогенберга.

$dQ_{пл}/d\phi$, кДж/(кг·град)

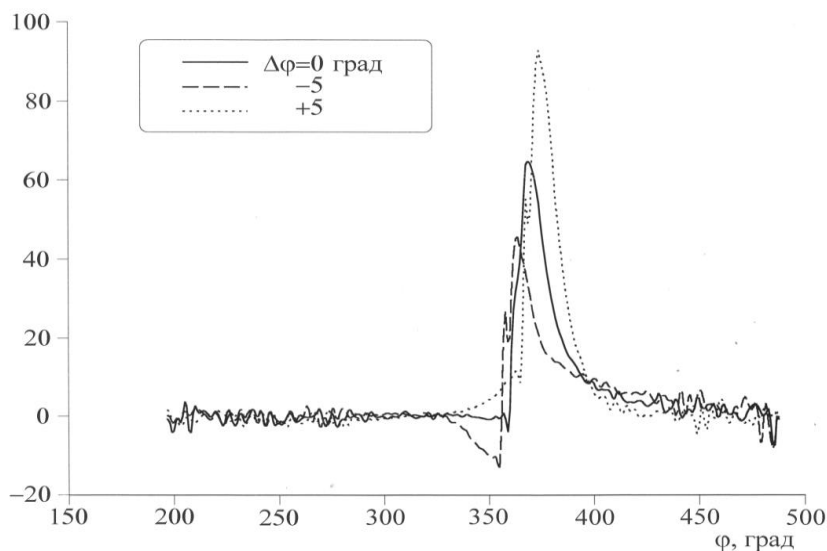


Рисунок 2 — Спотворення інформації про зміну інтенсивності теплотворення у разі неточного визначення верхньої мертвої точки в hard-soft-середовищі

Загалом описана технологія дозволяє визначати в кожному мить часу низку саме тих параметрів, що конче необхідні у разі моделювання внутрішньомоторних процесів в рамках загально визнаних теоретичних уявлень. При цьому забезпечується рівень адекватності інформації, значно вищий від того, якого можна сподіватись у разі класичного підходу до моделювання.

Звісно, формально середній робочий цикл — це штучне утворення. Скажімо, «середня» індикаторна діаграма фізично не пов'язана з відповідною «середньою» діаграмою зміни інтенсивності теплотворення. І при цьому не має значення, скільки послідовних робочих циклів мають надійно репрезентувати той чи інший режим роботи двигуна — 100, 200 чи 1000, зважаючи на те, що кожен наступний робочий цикл загалом не подібний на попередній, що енергія запалення від циклу до циклу може змінюватися, що існує дрейф миті запалення, що порції пального, які надходять в циліндр різнитимуться абощо. Зате за такими параметрами, як середнє на ансамблі робочих циклів значення p_{isr} так званого середнього індикаторного тиску p_i чи p_{esr} так званого середнього ефективного тиску p_e (інколи й подачі пального, максимального значення тиску...), можна закріпити статус об'єктивної величини. В такому разі в заданому ансамблі робочих циклів знайдеться якийсь такий, значення p_i (чи p_e, \dots) в якому найменше відрізняються від зафіксованого в ансамблі середнього значення p_{isr} (чи p_{esr}, \dots). В такому разі саме цей цикл і вся інформація, відповідна йому, є в сенсі середнього природно (фізично) репрезентативними. Аби не провокувати «втому» давачів, кількість послідовних робочих циклів в ансамблі не повинна б перевищувати 100.