

УДК 621.43

ВПЛИВ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ НА ТРИВАЛОСТІ ЕТАПІВ ЗГОРЯННЯ ОДНОРІДНИХ РОБОЧИХ СУМІШЕЙ В АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНАХ

Стефановський О.Б., канд. техн. наук

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (619) 42-04-42

Анотація – у статті проаналізовано особливості впливу ряду факторів на тривалості етапів згоряння однорідних сумішей в автомобільних двигунах з іскровим запалюванням, отримано відповідні статистичні залежності.

Ключові слова: однорідна суміш, згоряння, автомобільний двигун.

Постановка проблеми. Згоряння однорідних робочих сумішей при іскровому запалюванні (ЗОРСІЗ) має переваги, що стосуються його швидкості та повноти, порівняно із згорянням інших сумішей. Тому воно широко використовується в малогабаритних високофорсованих двигунах автомобілів, мотоциклів і малих літаків.

Також ЗОРСІЗ має недолік – це схильність до небезпечних порушень, що руйнують деталі двигунів. Однак, на часткових навантаженнях, які є типовими для транспортних двигунів, ймовірність цих порушень є невеликою.

Зараді наочності, у складному процесі ЗОРСІЗ виділяють три етапи: перший – розвитку початкового вогнища полум'я; другий – «швидке» горіння суміші; третій – догорання. Як правило, тривалість останнього є невеликою, порівняно з тривалістю першого і другого етапів.

Хоча ЗОРСІЗ давно досліджується, і методи впливу на нього встановлені, дотепер в інженерній практиці бракує більш загальних кількісних залежностей тривалостей першого і другого етапів від основних факторів.

Аналіз останніх досліджень. Експериментальні дані щодо впливу ряду факторів на вказані тривалості при повному навантаженні двигунів, які допускають кількісне узагальнення, опубліковані, зокрема, у книгах [1 – 4]. Оскільки ці дані отримані при випробуваннях автомобільних двигунів, які розроблялися у другій половині ХХ сторіччя, то залежності, розглянуті далі, є в деякій мірі орієнтовними. Вони уточнюватимуться при використанні більш нових

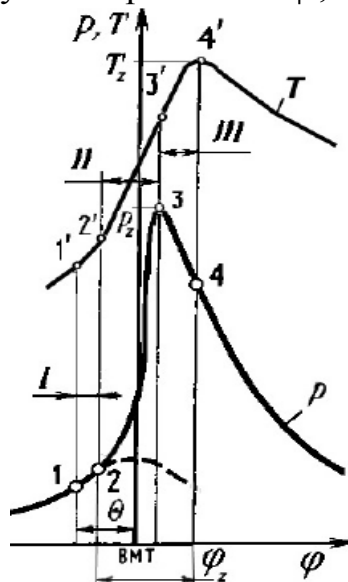
експериментальних даних.

Мета статті — отримати статистичні залежності тривалості етапів згоряння однорідних сумішей від основних факторів.

Основна частина. Тривалість етапу згоряння може вимірюватися як за часом (t , с), так і за кутом повороту кривошипа (φ , град). Якщо знехтувати коливаннями частоти обертання колінчастого вала n (1/хв), то між цими формами тривалості є пропорційність:

$$\varphi = 6\pi t. \quad (1)$$

Обидві ці форми використовувалися при пошуку статистичних залежностей, причім вибір між ними ґрунтувався на ступеню наочності отриманої залежності. Для першого етапу згоряння (див. схему на рис. 2.1, за відомостями [1]) більш чіткі залежності отримано для кутової тривалості φ_I , а для другого – для часової тривалості t_{II} .



Етапі згоряння однорідної робочої суміші:

- I** – формування фронту полум'я (це не є «затримкою займання»);
- II** – «швидке» горіння;
- III** – догорання.

Рис. 1. Схема етапів згоряння однорідної робочої суміші:

- 1** – утворення іскри;
- 2** – кут випередження запалювання (до ВМТ);
- 3** – формування фронту полум'я;
- 4** – початок «швидкого» горіння;
- 3** – фактичний максимум тиску (p_z) і кінець «швидкого» горіння;
- 4** – максимум умовної температури (T_z) і можливий кінець догорання;
- φ_z – кутова тривалість згоряння.

Серед цих етапів, другий відрізняється значним консерватизмом: на його кутову тривалість φ_{II} не відмічено суттєвого впливу різних факторів. Навпаки, тривалості інших етапів (в обидвох формах) суттєво залежать від них, і через це спостерігається нестабільність протікання робочих циклів у двигунах з іскровим запалюванням.

На тривалість першого етапу згоряння значно впливають такі фактори, як коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_{нп}$, кут випередження запалювання (КВЗ) θ , швидкісний, навантажувальний та тепловий режими двигуна тощо. Впливи двох останніх режимів тут не розглядаються через прийняті обмеження (дросельна заслінка повністю відкрита, двигун прогрітий). Вплив $\alpha_{нп}$ був помітним тільки при значних відхиленнях складу паливно-повітряної суміші від стехіометричного ($\alpha_{нп} = 1,0$), які практично не реалізуються в сучасних автомобільних двигунах; спостерігався слабкий мінімум t_I при $\alpha_{нп} \approx 0,9$. Вплив частоти обертання n можна частково врахувати, якщо розглядати не часову, а кутову тривалість першого етапу

згоряння. Тоді треба в'яснити, як КВЗ θ впливає на цю тривалість φ_1 для сукупності автомобільних двигунів.

У полулогарифмічних координатах (логарифм φ_1 – КВЗ, рис. 2) дослідні точки для чотирьох двигунів розмістилися так, що для більшості їх методом найменших квадратів підібрана така статистична залежність:

$$\varphi_1 \approx 3,9 e^{0,037\theta} \quad (2)$$

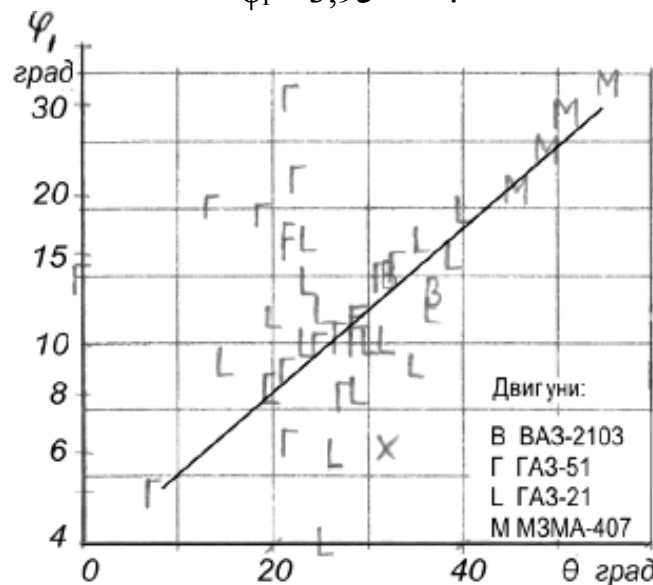


Рис. 2. Первонаочальна статистична залежність кутової тривалості першого етапу згоряння від кута випередження запалювання

Вона показує, що із збільшенням КВЗ, як правило, суттєво зростає і кутова тривалість φ_1 . Частота обертання для зображених точок змінювалася в межах 1000...5600 1/хв. Видно, що при невеликих значеннях КВЗ ($\theta = 15...30$ град до ВМТ) є великі відхилення величини φ_1 , які могли зумовлюватися, наприклад, коливаннями складу робочої суміші, якості іскри тощо.

Щоб зробити на базі (2) більш інформативну залежність, до її факторів було введено відношення середньої швидкості поршня $w_{п,ср}$ до характерної швидкості звуку $w_{зв,с}$ у заряді, який має параметри, як у кінці стиску (точка **с** на індикаторній діаграмі). Остання швидкість може мати зв'язок зі швидкістю турбулентного полум'я та пропорційна квадратному кореню з температури заряду T_c . У свою чергу, вона пропорційна температурі свіжого заряду наприкінці впуску T_a , причім коефіцієнт пропорційності дорівнює ступеню стиску ϵ у ступеню n_1 , де останній є середнім показником політропи стиску, що легко обчислюється на базі дослідних реєстрацій тиску в циліндрах двигунів:

$$n_1 = \frac{\lg(p_c / p_a)}{\lg \epsilon} \quad (3)$$

З урахуванням впливу фактора $w_{п,ср}/w_{зв,с}$, для більшості дослідних точок методом найменших квадратів підібрана вточнена статистична залежність:

$$\varphi_I \approx 0,02 e^{0,051\theta} (w_{п,ср} / w_{зв,с})^{-1,2}, \quad (4)$$

де $w_{п,ср}/w_{зв,с}$ змінюється в межах 0,008...0,03 і має зворотний вплив на кутову тривалість першого етапу згоряння.

Кореляція між дослідними і розрахунковими значеннями φ_I показана на рис. 3.

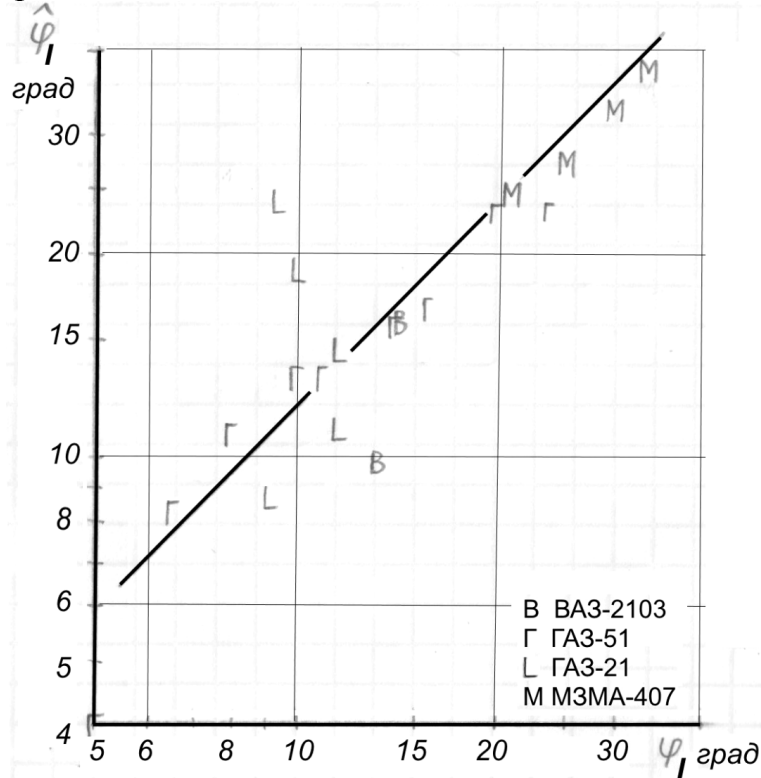


Рис. 3. Кореляція між дослідними і розрахунковими (за (4), по осі ординат) значеннями кутової тривалості першого етапу згоряння

Як видно, суттєві відхилення розрахункових значень від дослідних можливі при $\varphi_I \approx 10$ град, а в інших випадках статистична залежність (4) придатна для кількісних оцінок φ_I з відносною похибкою в межах $\pm 20\%$.

У багатьох підручниках з теорії автотракторних двигунів стверджується, що часова тривалість t_{II} другого етапу згоряння однорідних сумішей зворотно пропорційна частоті обертання n колінчастого вала двигуна. Однак, ця теза не здобула в них графічної ілюстрації, тому для перевірки відповідні дослідні дані представлені в логарифмічних координатах (рис. 4). Як видно на графіку, для всіх розглянутих автомобільних двигунів залежність між логарифмами t_{II} і n є практично прямолінійною, причём нахил зображених ліній відповідає показнику ступеня в межах $-1,1 \dots -0,9$.

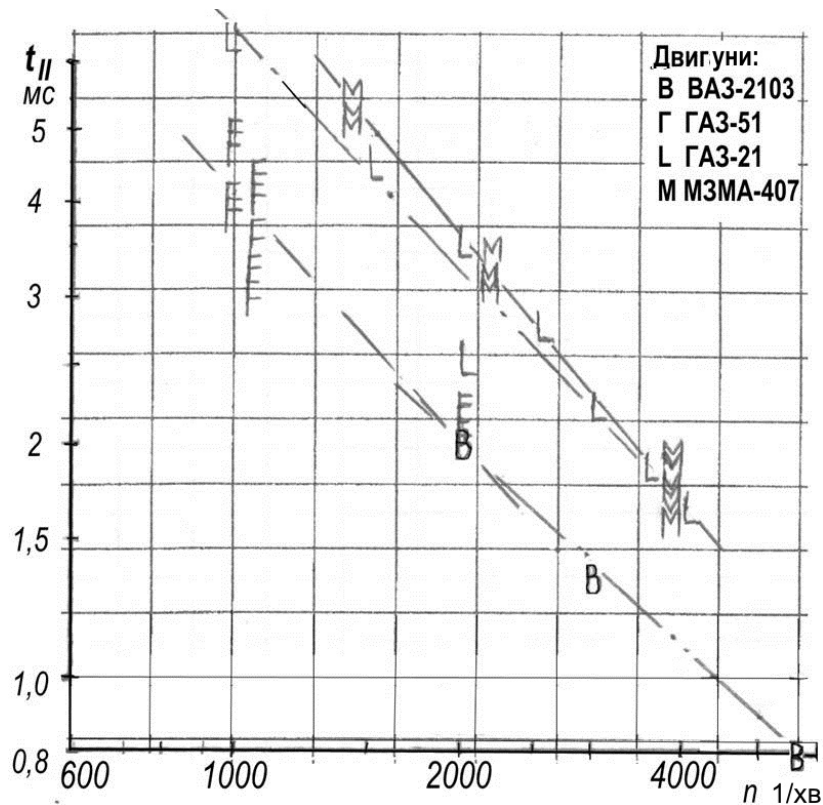


Рис. 4. Дослідні залежності часової тривалості другого етапу згоряння від частоти обертання колінчастого вала

Суттєві відхилення від зображеної прямої лінії видні лише для двигуна ГАЗ-51 при $n \approx 1000$ 1/хв, що можна пояснити ймовірністю порушень нормального згоряння при низькій частоті обертання; даний двигун є нижньоклапанним, де форма камер згоряння є несприятливою в цьому відношенні.

Загальну залежність для часової тривалості другого етапу згоряння поки що не получено, бо на рис. 4 видно, що в кожного двигуна розрізняються значення коефіцієнта у ступеневій функції, незважаючи на близькість значень показника ступеня в неї.

Для сумарної кутової тривалості φ_z другого і третього етапів згоряння узагальнену статистичну залежність отримано вченими Південно-Уральського державного університету [5]:

$$\varphi_z \approx 30 + 0,006n - 15\psi^{0,4}, \quad (5)$$

де $\psi_{дз}$ – рівень відкриття дросельної заслінки (при повному навантаженні $\psi_{дз} = 1$). В інтервалі $n = 1000 \dots 6000$ 1/хв при повному навантаженні φ_z зростає від 21 до 41 град.

Висновок. Отримано статистичну залежність кутової тривалості першого етапу згоряння однорідних сумішей від кута випередження запалювання і відношення середньої швидкості поршня до характерної швидкості звуку в стисненому заряді.

Підтверджено схожисть характеру впливу частоти обертання

колінчастого вала на часову тривалість другого етапу згорання однорідних сумішей в різних автомобільних двигунах, який (вплив) є зворотно пропорційним з певними відхиленнями.

Кутову тривалість догорання однорідних сумішей при повному навантаженні двигуна можна оцінити, використовуючи отриманий результат для тривалості другого етапу згорання і статистичну залежність (5), запропоновану в роботі [5] для сумарної кутової тривалості другого і третього етапів згорання.

Література

1. *Архангельский В.М.* Автомобильные двигатели : Учебник для вузов / *В.М. Архангельский* [и др.]. – М.: Машиностроение, 1967. – 496 с.
2. *Орлин А.С.* Двигатели внутреннего сгорания. Т. I. Рабочие процессы в двигателях и их агрегатах / *А.С. Орлин* [и др.]; под ред. А.С. Орлина. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машгиз, 1957. – 396 с.
3. *Дьяченко В.Г.* Теория двигателей внутреннего сгорания : Учебник для студентов вузов / *В.Г. Дьяченко*. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 500 с.
4. *Ленин И.М.* Теория автомобильных и тракторных двигателей : Учебник для вузов / *И.М. Ленин*. - М.: Машиностроение, 1969. – 368 с.
5. *Шароглазов Б.А.* Автоматизированная оценка численных значений исходных параметров при моделировании процессов в поршневых двигателях / *Б.А. Шароглазов* [и др.] // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2013. – Т. 13, №1. – С. 80-85.

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭТАПОВ СГОРАНИЯ ОДНОРОДНЫХ СМЕСЕЙ В АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

Стефановский А.Б.

Аннотация — в статье проанализированы особенности влияния ряда факторов на продолжительности этапов сгорания однородных смесей в автомобильных двигателях с искровым зажиганием, получены соответствующие статистические зависимости.

IMPACT OF MAJOR FACTORS ON THE DURATION OF STAGES OF THE HOMOGENEOUS MIXTURE COMBUSTION IN AUTOMOTIVE ENGINES

A.B. Stefanovsky

Summary

Features of influence of some factors on the duration of stages of the combustion of homogeneous mixtures in automotive spark-ignition engines are analyzed and relevant statistical correlations are obtained in the paper.