

варіюванні ступеня стиснення і коефіцієнта надлишку повітря. Запропоновані математична модель і детальний кінетичний механізм задовільно описують процес самозаймання суміші і можуть бути використані для прогнозування меж стукі або детонації у двигунах. Підтверджено існування півострова самозаймання суміші у зазначеній фазовій площині. Вплив термодинамічних, конструктивних, геометричних, динамічних та інших параметрів процесу на самозаймання відповідає відомим експериментальним даним.

## SIMULATION OF THE PHENOMENA A KNOCK BEFORE OF THE FLAME FRONT IN THE SPARK IGNITION ENGINE ON THE BASIS OF A DETAILED CHEMICAL KINETICS

A.P. Senachin, P.K. Senachin

The results of numerical simulation of ignition limits of mixtures of normal heptane, isooctane and the flame front of a spark ignition engine in the phase plane of the frequency of rotation - the ignition angle when varying the compression ratio and the excess air ratio is offered. The proposed mathematical model and a detailed kinetic mechanism satisfactorily describe the process of spontaneous combustion mixture and can be used to predict the limits of a knock or detonation engines. The existence of the peninsula ignition mixture in said phase plane is proved. The influence of thermodynamic, structural, geometric, dynamic, and other process parameters on the self-ignition consistent with the known experimental data.

УДК 621.43.03

I.A. Швець

## ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЗОПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ ПРИ РУСІ ЧЕРЕЗ ЗМІШУВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ

*Розглянуто питання щодо визначення вихідних параметрів газоповітряного потоку як перший етап чисельного моделювання. Наведено математичні залежності, які значно спрощують отримання чисельних значень вихідних параметрів і, відповідно, вхідних для роботи з CFD комплексами. Вихідними параметрами які підлягають визначенню перед чисельним моделюванням, є перепад тиску в змішувальному пристрої та швидкість потоку на виході. Розглянуто основні допущення, які можуть застосовуватись при роботі з математичними залежностями, та відмічено їх вплив на точність отримання вихідних параметрів газового потоку.*

### Вступ

Моделювання параметрів потоку газу (рідини) з використанням розрахункових Computational fluid dynamics (CFD) комплексів типу ANSYS, Flow Vision та інших на сьогодні являє собою складний та кропіткий процес, який вимагає від дослідника:

- фундаментальних знань з гідро- та газодинаміки, для вибору математичної моделі обрахунку параметрів потоку у відповідності до поставленого завдання;
- вмінь швидко та якісно готувати початкові дані для препроцесору;
- навичок роботи на ПЕОМ з інтерфейсом конкретного CFD комплексу;
- значних затрат часу на розрахунок та обробку результатів.

Витрати часу на розв'язання конкретних завдань залежать від:

- 1) складності геометрії фасеткової моделі;
- 2) рівня складності завдання, що розв'язується та обраної для його розв'язання математичної моделі;
- 3) кількості та розмірів кінцевих елементів;
- 4) початкових параметрів потоку, початкових та граничних умов системи, тощо.

**Постановка проблеми.** Для досягнення найбільшої достовірності результатів, що будуть

отримані в ході чисельного експерименту, необхідно забезпечити його тісний взаємозв'язок з натурним експериментом. Тому дані, отримані в ході попереднього натурального дослідження, є основою для дослідження чисельного. За умови відсутності даних, отриманих в ході експериментального дослідження, початкові дані для подальшого чисельного експерименту можуть бути отримані розрахунковим шляхом. Застосування початкових даних, отриманих розрахунковим шляхом, значно зменшує витрати часу при проведенні чисельного експериментального дослідження. Тому отримання математичних залежностей, що дозволять суттєво зменшити час на підготовку початкових даних та обрахунок результатів є на сьогодні актуальним завданням.

В даному випадку вирішується завдання дослідження характеру протікання процесів в камері змішувального пристрою сучасними електронно-обчислювальними засобами із застосуванням програмного комплексу Flow Vision з метою визначення ефективності їх протікання. В даній роботі буде розглянуто математичні залежності щодо визначення попередніх параметрів потоку для підготовки та реалізації чисельного експерименту.

**Викладення основного матеріалу**

При протіканні повітряного потоку змішувач газу може розглядатись як місцевий опір. Для визначення початкових параметрів потоку будуть задіяні основні закони та залежності гідро- та газодинаміки.

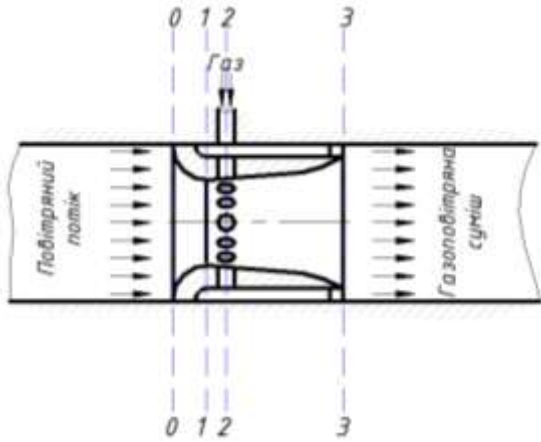


Рис. 1. Схема змішувального пристрою:

0 – 0 – вхід в змішувальний пристрій;

1 – 1 – найвузший (критичний) переріз змішувального пристрою;

2 – 2 – місце виходу газового потоку;

3 – 3 – вихід із змішувального пристрою

Представлений на рисунку 1 газозмішувальний пристрій має конструктивні особливості:

1) дотичний принцип розташування отворів подачі газу;

2) комбінований щільово-отворовий принцип подачі газового палива.

З метою визначення параметрів робочого тіла в довільному перетині змішувального пристрою використано рівняння Бернуллі:

$$z_i + \frac{p_i}{\rho_i \cdot g} + \alpha_i \cdot \frac{v_{cp,i}^2}{2 \cdot g} = z_{i+1} + \frac{p_{i+1}}{\rho_{i+1} \cdot g} + \dots \quad (1)$$

$$\dots + \alpha_{i+1} \cdot \frac{v_{cp,i+1}^2}{2 \cdot g} + \xi_{i,i+1} \cdot \frac{v_{cp,i+1}^2}{2 \cdot g} = \text{const},$$

де  $i$  – індекс параметрів потоку рідини (газу) на початку ділянки, що розглядається;

$i+1$  – індекс параметрів потоку рідини (газу) в кінці ділянки що розглядається;

$z_i, z_{i+1}$  – геометричний напір потоку рідини (газу), відповідно, на початку та в кінці ділянки;

$p_i, p_{i+1}$  – тиск потоку рідини (газу), відповідно, на початку та в кінці ділянки;

$\rho_i, \rho_{i+1}$  – густина потоку рідини (газу), відповідно, на початку та в кінці ділянки;

$\alpha_i, \alpha_{i+1}$  – коефіцієнт Коріоліса для потоку рідини (газу), відповідно, на початку та в кінці ділянки;

$v_i, v_{i+1}$  – середня швидкість потоку рідини (газу), відповідно, на початку та в кінці ділянки;

$\xi_{i,i+1}$  – коефіцієнт місцевих втрат на ділянці, що розглядається.

За умови  $z_i = z_{i+1}$ , тобто  $D_z = 0$ , та нехтування впливом масових сил для газу справедливим буде допущення  $z_i = z_{i+1} = 0$ , тоді:

$$\frac{p_i}{\rho_i \cdot g} + \alpha_i \cdot \frac{v_{cp,i}^2}{2 \cdot g} = \frac{p_{i+1}}{\rho_{i+1} \cdot g} + \dots \quad (2)$$

$$\dots + \alpha_{i+1} \cdot \frac{v_{cp,i+1}^2}{2 \cdot g} + \xi_{i,i+1} \cdot \frac{v_{cp,i+1}^2}{2 \cdot g}.$$

Прирівнявши нулю праву та ліву частину рівняння (2), маємо:

$$\left( \frac{p_i}{\rho_i \cdot g} - \frac{p_{i+1}}{\rho_{i+1} \cdot g} \right) + \left( \alpha_i \cdot \frac{v_{cp,i}^2}{2 \cdot g} - \alpha_{i+1} \cdot \frac{v_{cp,i+1}^2}{2 \cdot g} \right) - \dots \quad (3)$$

$$\dots - \xi_{i,i+1} \cdot \frac{v_{cp,i+1}^2}{2 \cdot g} = 0.$$

Якщо вважати  $\rho_i = \rho_{i+1} = \rho = \text{const}$

$$\frac{p_i - p_{i+1}}{\rho \cdot g} + \frac{(\alpha_i \cdot v_{cp,i}^2 - \alpha_{i+1} \cdot v_{cp,i+1}^2)}{2 \cdot g} - \dots \quad (4)$$

$$\dots - \xi_{i,i+1} \cdot \frac{v_{cp,i+1}^2}{2 \cdot g} = 0.$$

Для спрощення рівняння (4) помножимо його ліву та праву частину на множник  $2 \cdot \rho \cdot g$

$$2 \cdot (p_i - p_{i+1}) + (\alpha_i \cdot v_{cp,i}^2 - \alpha_{i+1} \cdot v_{cp,i+1}^2 - \dots \quad (5)$$

$$\dots - \xi_{i,i+1} \cdot v_{cp,i+1}^2) \cdot \rho = 0.$$

Виходячи з умови нерозривності потоку [1],

$$Q = f_i \cdot v_{cp,i} = f_{i+1} \cdot v_{cp,i+1} = \text{const},$$

де  $f_i, f_{i+1}$  – площа перетину пристрою відповідно на вході та виході.

Тоді маємо:

$$Q = f_i \cdot v_{cp,i} = f_{i+1} \cdot v_{cp,i+1} = \text{const}$$

$$v_{cp,i} = \frac{f_{i+1} \cdot v_{cp,i+1}}{f_i}, \quad (6)$$

$$2 \cdot (p_i - p_{i+1}) + \left( \alpha_i \cdot \left( \frac{f_{i+1} \cdot v_{cp,i+1}}{f_i} \right)^2 - \dots \quad (7)$$

$$\alpha_{i+1} \cdot v_{cp,i+1}^2 - \xi_{i,i+1} \cdot v_{cp,i+1}^2 \right) \cdot \rho = 0.$$

Зробивши необхідні перетворення отримуємо:

$$2 \cdot (p_i - p_{i+1}) + \left( \alpha_i \cdot \frac{f_{i+1}^2}{f_i^2} - \dots \quad (8)$$

$$\dots - \alpha_{i+1} - \xi_{i,i+1} \right) \cdot \rho \cdot v_{cp,i+1}^2 = 0.$$

Тоді на базі даного рівняння (8) отримуємо:

$$\left( \alpha_i \cdot \frac{f_{i+1}^2}{f_i^2} - \alpha_{i+1} - \xi_{i,i+1} \right) \cdot \rho \cdot v_{cp,i+1}^2 = \dots \quad (9)$$

$$\dots = -2 \cdot (p_i - p_{i+1})$$

або

$$\left( \alpha_{i+1} - \alpha_i \cdot \frac{f_{i+1}^2}{f_i^2} + \xi_{i-i+1} \right) \cdot \rho \cdot v_{cp,i+1}^2 = \dots$$

$$\dots = 2 \cdot (p_i - p_{i+1}) \quad (10)$$

Тоді

$$v_{cp,i+1}^2 = \frac{2 \cdot (p_i - p_{i+1})}{\left( \alpha_{i+1} - \alpha_i \cdot \frac{f_{i+1}^2}{f_i^2} + \xi_{i-i+1} \right) \cdot \rho} \quad (11)$$

рішенням якого буде:

$$v_{cp,i+1} = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_i - p_{i+1})}{\left( \alpha_{i+1} - \alpha_i \cdot \frac{f_{i+1}^2}{f_i^2} + \xi_{i-i+1} \right) \cdot \rho}} \quad (12)$$

Також з рівняння (8) отримуємо залежність для визначення перепаду тиску на ділянці що розглядається:

$$2 \cdot (p_i - p_{i+1}) = - \left( \alpha_i \cdot \frac{f_{i+1}^2}{f_i^2} - \dots \right)$$

$$\dots - \alpha_{i+1} - \xi_{i-i+1} \cdot \rho \cdot v_{cp,i+1}^2 \quad (13)$$

або відповідно

$$2 \cdot (p_i - p_{i+1}) = \left( \alpha_{i+1} - \alpha_i \cdot \frac{f_{i+1}^2}{f_i^2} + \dots \right)$$

$$\dots + \xi_{i-i+1} \cdot \rho \cdot v_{cp,i+1}^2 \quad (14)$$

і тоді

$$\Delta p = \frac{\left( \alpha_{i+1} - \alpha_i \cdot \frac{f_{i+1}^2}{f_i^2} + \xi_{i-i+1} \right) \cdot \rho \cdot v_{cp,i+1}^2}{2} \quad (15)$$

Необхідно відмітити, що в обох рівняннях (12) та (15) факторами основного та безпосереднього впливу на вихідні параметри потоку є співвідношення квадратів площ перетинів  $\frac{f_{i+1}^2}{f_i^2}$  та швидкість потоку на виході  $v_{cp,i+1}^2$ . Вплив величин  $\alpha_i$ , та  $\alpha_{i+1}$  на вихідні параметри потоку також присутній, але він не суттєвий внаслідок стаціонарності режиму руху газового потоку для перетину, що розглядається. Суттєві зміни в характері руху потоку можливі за умови різкого переходу від ламінарного до турбулентного режиму руху, що в результаті може призвести до коливань  $\alpha$ . Так згідно [2] для ламінарного режиму руху  $\alpha = 2$ , а для турбулентного  $\alpha = 1,13 \dots 1,15$ , а в більшості розрахунків для турбулентного режиму руху потоку приймається  $\alpha = 1$ . Безпосередній вплив коефіцієнту місцевих втрат  $\xi_{i-i+1}$  на вихідні параметри потоку відбувається через число Re і найбільш відчутний для ламінарного руху потоку згідно [3]. Враховуючи турбулентний характер руху, для задачі, що розглядається, малу

довжину і-тої ділянки перетину змішувального пристрою, коефіцієнт  $\xi_{i-i+1}$  умовно можна вважати сталою величиною. Також враховуючи незначний рівень коливань зміни густини газового потоку  $\Delta \rho \rightarrow 0$ , кінцевий вплив зміни густини потоку на результати для (12) та (15) буде несуттєвий.

### Висновки

1) Застосування аналітичних залежностей для визначення початкових параметрів потоку, отриманих на базі рівняння Бернуллі, дає можливість зменшити матеріальні та людські витрати під час моделювання із застосуванням (CFD) комплексів.

2) Розрахункове дослідження для початкових параметрів потоку, виконане з використанням рівняння Бернуллі, показало, що головними факторами впливу на вихідні параметри потоку є співвідношення квадратів площ перетинів змішувального пристрою  $\frac{f_{i+1}^2}{f_i^2}$  та квадрат швидкості потоку на виході  $v_{cp,i+1}^2$ .

3) В зв'язку з незначним рівнем зміни величин  $\alpha$ ,  $\xi_{i-i+1}$  та  $\rho$  при русі потоку через змішувальний пристрій, їх вплив на вихідні параметри потоку не суттєвий.

### Список літератури:

1. Сергель О.С. Уравнение неразрывности /Сергель О.С.– М.: Машиностроение, 1981. – 374 с., ил. – (Прикладная гидрогазодинамика: Учебник для авиационных вузов.)
2. Винников В.А., Гидромеханика: [учебник для вузов] /Винников В.А., Каркашадзе Г.Г. М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 302 с., ил.
3. Идельчик И.Е. Общие указания / Идельчик И.Е. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.: ил. – (Справочник по гидравлическим сопротивлениям – 3-е изд., перераб. и доп./ Под ред. М.О. Штейнберга)
4. Круглов М.Г., Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания: [учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»] / Круглов М.Г., Меднов А.А. – М.: Машиностроение, 1988. – 360 с.: ил.

### Bibliography (transliterated):

1. Sergel OS The equation of continuity / Sergel OS - Mashinostroyeniye, 1981. - 374 p., Ill. - (Applied Fluid Dynamics: A Textbook for aviation schools.)
2. VINNIKOV VA, Fluid [textbook for high schools] / VINNIKOV VA, GG Karkashadze Moscow: Publishing the Moscow State Mining University, 2003. - 302 p., Ill.3. Idelchik IE, General Instructions / Idelchik IE - M.: Mechanical Engineering, 1992. - 672 s.: Ill. - (Handbook of hydraulic resistance - 3rd ed., Rev. And add. / Ed. Steinberg MO)4. Kruglov MG, Gas dynamics of combined internal combustion engines [Textbook. aid for students enrolled in the specialty "Internal Combustion Engines"] / MG Kruglov, copper AA. - M.: Mechanical Engineering, 1988. - 360 s.: Ill.

Поступила в редакцию 03.07.2013

**Швець Ігор Анатолійович** – викладач Первомайського політехнічного інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала С.Й. Макарова, Первомайськ, Україна, e-mail: asistent2011@mail.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВОЗДУШНОГО ПОТОКА ПРИ ДВИЖЕНИИ ЧЕРЕЗ УСТРОЙСТВО СМЕШЕНИЯ

*И.А. Швец*

Рассмотрены вопросы определения выходных параметров газо-воздушного потока как первый этап численного моделирования. Приведенные математические зависимости значительно упрощают получение численных значений выходных параметров и, соответственно, входных для работы с CFD комплексами. Исходные параметры, которые подлежат определению, перед численным моделированием есть перепад давления в устройстве смешения и скорость потока на выходе. Рассмотрены основные допущения, применимые при работе с математическими зависимостями и отмечено их влияние на точность получения исходных параметров газового потока.

## METRICS SPECIFICATION OF GAS-AIR FLOW MOVING THROUGH MIXING DEVICE

*I. A. Shvets*

The problems of determining the output parameters of the gas-air flow as the first stage of the numerical simulation are considered. These mathematical relationships are much easier to obtain numerical values as junction parameters and input respectively to work with CFD systems. Baseline parameters that must be determined before the numerical simulation is the pressure drop in the mixing device and the flow rate at the outlet. The basic assumptions are applicable when dealing with mathematical relations and noted their influence on the accuracy of the initial parameters of the gas flow.

УДК 621.438

**М.Р. Ткач, Б.Г. Тимошевский, А.С. Митрофанов, А.С. Познанский, А.Ю. Проскурин**

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНВЕРСИИ БИОЭТАНОЛА ДВС 2Ч 7,2/6

*Представлены принцип действия и конструктивные особенности экспериментальной установки ТХР-2.0, предназначенной для исследований паровой конверсии биоэтанола в синтез-газ в термохимическом реакторе. Определены основные конструктивные и энергетические показатели реактора на характерных режимах. Минимальная температура, при которой была достигнута 100% конверсия биоэтанола, составила 620 °С при использовании смеси с 54% содержанием биоэтанола. Эффективная мощность реактора в зависимости от состава смеси составляла 252...333 Вт.*

### Постановка проблемы

Постоянное повышение стоимости нефтяных топлив и их ограниченные запасы приводят к необходимости решения двуединой задачи - поиск новых видов топлива и принципов более эффективного использования этих топлив в энергетических установках. Одним из путей ее решения является использование продуктов термохимической конверсии биоэтанола в качестве топлива тепловых двигателей.

Использование биоэтанола в качестве топлива в тепловых двигателях достаточно подробно изучены отечественными и иностранными специалистами. Биоэтанол в основном используется в автомобильных двигателях с искровым зажиганием в качестве добавки к бензину (Е10, Е25) или в качестве основного топлива [1].

Большая часть биоэтанола производится из кукурузы (США) и сахарного тростника (Бразилия). Наиболее целесообразным с экономической точки зрения сырьем для производства биоэтанола в Украине является кукуруза [2]. Биоэтанол обес-

печивает высокие антидетонационные свойства и пониженное содержание токсичных веществ в отработавших газах [3]. Недостатками биоэтанола являются пониженная теплота сгорания ( $Q_n = 26,78$  МДж/кг), высокая теплота испарения ( $Q_i = 870$  кДж/кг) и низкое давление насыщенных паров ( $p_n = 12,2$  кПа) [4].

Термохимическая конверсия биоэтанола позволяет улучшить не только топливно-экономические и экологические характеристики ДВС, но и кинетические показатели процесса сгорания топлива внутри цилиндра.

В энергетических установках с ДВС необходимая энергия для осуществления реакции конверсии может быть получена при утилизации тепла отходящих газов двигателя [5,6]. В результате конверсии химическая энергия полученного синтез-газа превышает энергию исходного биоэтанола на величину утилизированной энергии отходящих газов в реакторе, которая таким образом регенерируется.