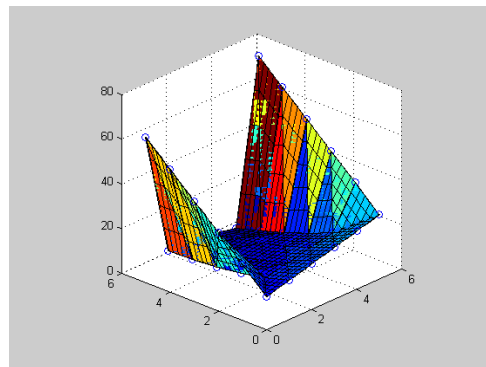


а)



б)

Рисунок 2- Поле введення вхідних даних (а) та поле концентрації шкідливих речовин (б)

### Висновок

В результаті проведеного дослідження моделювання поля концентрації за допомогою диференціальних рівнянь в частинних похідних був розроблений програмний комплекс в основу якого покладений метод скінченних різниць, який є одним з найбільш поширених чисельних методів розв'язування рівнянь в частинних похідних.

### Список використаних джерел

1. Ковальчук П.І. «Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища», Київ «Либідь», 2003р.
2. [http://www.uchites.ru/files/nummethod\\_book\\_chapter5-1234.pdf](http://www.uchites.ru/files/nummethod_book_chapter5-1234.pdf)
3. <http://coderov.net/vma/65-decisionofthesystemsofthelinear/150-method-progon.html>

УДК 533.601.1, 004.021

## РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АЕРОДИНАМІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ АВТОКОРПУСІВ

Кривий Р.З.<sup>1)</sup>, Ціжман Я.І.<sup>2)</sup>

Національний університет «Львівська політехніка»,  
<sup>1)</sup> к.т.н., асистент; <sup>2)</sup> бакалавр

### I. Постановка задачі

При покращенні швидкісних даних автомобіля важливим є покращення аеродинамічних характеристик його корпусу. Створення системи, яка б могла відобразити рух повітря відносно корпусу автомобіля та надати користувачу дані, щодо його можливого покращення, значно полегшило б цей процес. Зокрема у такій системі були б зацікавлені підприємства, що працюють з такими матеріалами як скловолокно та вуглепластик. Систему найкраще реалізувати у вигляді програмно-методичного комплексу, який дозволить користувачу формувати модель корпусу автомобіля та переглядати як поводить повітряний потік навколо нього. Після цього у вказаному користувачем місці система проведе оптимізацію форми корпусу та відобразить зміни у аеродинамічних характеристиках.

### II. Визначення аеродинамічних характеристик

Основною частиною визначення аеродинамічних характеристик є розв'язання рівняння Нав'є-Стокса, зокрема рівняння перенесення імпульсу:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + f_i \quad (1)$$

Зазвичай вирішення таких рівняння програмно реалізуються за допомогою методів скінченних елементів/об'ємів чи методу решіткових рівнянь Больцмана. В даній роботі надано перевагу саме методу решіткових рівнянь.

Решітковий метод Больцмана було розроблено для моделювання динаміки рідини чи газу. Суть метода полягає в тому, що досліджувана область розбивається на скінченне число комірок, між якими

на кожному кроці по часу відбувається перенесення речовини у відповідності з заданим видом кінетичного рівняння і інтеграла зіткнень.

Експериментально і теоретично доведено, що метод решіткових рівнянь Больцмана добре описує динаміку рідини і газу для широкого класу задач і узгоджується з рівняннями Нав'є-Стокса [1].

Суть методу решіткових рівнянь Больцмана для моделювання задач газодинаміки полягає у наступному. Нехай розрахункова область розбита на однакові квадратні комірки та речовина з вузлів комірок може переміщатися тільки в сусідні вузли по виділених напрямкам. На рисунку 1 представлено шаблон D2Q9 з 9 швидкостями в двовимірному просторі.

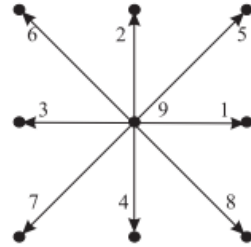


Рисунок 1 – Решітка D2Q9

Можна записати решіткове рівняння Больцмана у вигляді [2]

$$f_a(x + e_a \delta t, t + \delta t) = f_a(x, t) + \Omega_a(x, t), \quad (2)$$

де  $f_a$  – одночасткова функція розподілу для вибраного дискретного напрямку  $a$ ,  $e_a$  – дискретна швидкість,  $\delta t$  – крок по часу і  $\Omega_a(x, t)$  – інтеграл зіткнень. Такі макроскопічні параметри, як густина  $\rho$  і середня швидкість  $u$ , обчислюються через одночасткову функцію розподілу:

$$\rho = \sum_a f_a \quad (3)$$

$$\rho u = \sum_a e_a f_a \quad (4)$$

Самий простий і разом з тим самий підходящий для опису руху газу вид інтеграла зіткнень описує релаксацію системи до рівноважного стану

$$\Omega_a = \frac{1}{\tau} (f_a^{eq} - f_a), \quad (5)$$

де  $f_a^{eq}$  – рівноважна одночасткова функція розподілу і  $\tau$  – безрозмірний параметр релаксації. При описі моделі прийнято, що в кожній локальній області частинки підкорюються розподілу Максвелла. Відповідно, для невисоких значень середніх швидкостей ( $u \ll cs$ , де  $cs$  – швидкість звуку) можна записати наближення [3]

$$f_a^{eq} \approx \rho w_a \left[ 1 + \frac{(e_a u)}{c_s^2} + \frac{(e_a u)^2}{2c_s^4} - \frac{u^2}{2c_s^2} + \frac{(e_a u)^3}{2c_s^6} - \frac{(e_a u)u^2}{2c_s^4} \right] + o(u^4), \quad (6)$$

де  $w_a$  – вагові коефіцієнти, значення яких залежать від типу решітки. Так для решітки D2Q9:

$w_9 = \frac{4}{9}$ ,  $w_1 = \dots = w_4 = \frac{1}{9}$ ,  $w_5 = \dots = w_8 = \frac{1}{36}$ . Рівноважні функції розподілу підлягають закону

збереження маси і імпульсу:  $\rho = \sum_a f_a^{eq}$  і  $\rho u = \sum_a e_a f_a^{eq}$ .

Граничні умови типу непроникної стінки без прослизання моделюються відбиттям швидкості частинки, що з нею взаємодіє.

### III. Оптимізація аеродинамічних характеристик

Процес оптимізації форми корпусу для описаної моделі представляє собою оптимізацію багатопараметричної функції. Для її виконання використаємо генетичний алгоритм.

Генетичний алгоритм [4] представляє собою варіант стохастичного пошуку, в якому особини-наступники формуються шляхом зміни або комбінування двох чи більше батьківських особин. Під особою в даному випадку розуміється деякий дискретний напрям одночасткової функції. Робота генетичного алгоритму починається з генерації множини особин, що називається популяцією. Кожна особина класифікується за допомогою цільової функції, яка для даної моделі відповідає наближенню (6).

Далі відбувається схрещування особин. При його реалізації можливо також використати оператори редукції, що дозволить зберегти в популяції ті особини, які дають хороші результати при порівнянні декількох аеродинамічних характеристик. В подальшому особини підлягають процесу мутації.

При початковій генерації, подальших схрещуваннях та мутаціях особин необхідно накладати на алгоритм необхідні обмеження щодо представників популяції. Оскільки оптимізується частина корпусу автомобіля, необхідно враховувати, що в деяких його ділянках змінювати форму можна лише в чітко визначених межах (необхідно зберігати місце для елементів автомобіля, таких як двигун, місце водія та інших).

Після проведення вищевказаних етапів популяція підлягає селекції. Для нашої моделі обрано турнірну селекцію. Алгоритм виконується деяку скінченну кількість разів до отримання найбільш стабільної популяції. Отримана оптимізована поверхня передається у модель корпусу автомобіля, для якої повторно визначаються аеродинамічні характеристики.

Даний спосіб оптимізації надає користувачу можливість уникати створення проблематичних зон у формі корпусу чи зменшувати їх вплив. Це дозволить покращити аеродинамічні характеристики корпусу, що в свою чергу приведе до підвищення швидкісних даних автомобіля.

#### **Список використаних джерел**

1. Chen S., Doolen G.D. Lattice Boltzmann method for fluid flows // Annu. Rev. Fluid Mech. 1998. 30. 329–364.
2. He X., Luo L.-S. Theory of the lattice Boltzmann method: from the Boltzmann equation to the lattice Boltzmann equation // Phys. Rev. E. 1997. 56, N 6. 6811–6817.
3. Aidun C.K., Clausen J.R. Lattice-Boltzmann method for complex flows // Annu. Rev. Fluid Mech. 2010. 42. 439–472.
4. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы. М.: Физматлит, 2006.

УДК 621.396.6.019.3+519.87

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДМОВОСТІЙКОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВКЛАДЕНИХ МАЖОРИТАРНИХ СТРУКТУР В МАЖОРИТАРНУ СТРУКТУРУ**

**Змисний М.М., Муляк О.В.**

*Національний університет "Львівська політехніка", аспіранти*

### **I. Постановка задачі**

Постійно зростаючий розвиток авіабудівної, космічної галузі, систем автоматики стає більш залежним від якості комп'ютерних технологій, які динамічно розвиваються. Найважливішою складовою такої залежності є рівень надійності програмно-апаратних радіоелектронних засобів (РЕЗ), які є в основі побудови бортових та наземних інформаційно-керуючих систем, інформаційно-обчислювальних систем, систем логічного управління та інших систем відповідального призначення. Передусім це обумовлено тим, що недостатній рівень надійності таких програмно-апаратних РЕЗ може привести до матеріальних втрат, зниження конкурентоспроможності або до більш тяжких наслідків, пов'язаних із загибеллю людей, екологічними катастрофами тощо. Надійність таких програмно-апаратних РЕЗ підвищують використанням відмовостійкої системи (ВС) на основі мажоритарної структури з фіксованим правилом прийняття рішення [1] або ВС з реконфігурацією ядра мажоритарної структури [2]. Проте із збільшенням складності сучасних систем, забезпечення необхідного рівня надійності окремих елементів, технічних систем та блоків обробки інформації потребує подальшого удосконалення. Одним з методів забезпечення високого рівня надійності таких систем є розробка ВС з використанням вкладених мажоритарних структур в мажоритарну структуру [3].