

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ РОЗРАХУНКУ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЗАКРИТИХ ЄМНОСТЯХ

Димерцов Д. О. старший викладач  
Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця  
м. Харків, Україна, [dmytro.dymertsov@hneu.net](mailto:dmytro.dymertsov@hneu.net)

### **Анотація.**

У роботі розглянуто застосування цифрових технологій та комп'ютерного моделювання для дослідження газодинамічних процесів у технічних системах. Розроблено узагальнену одновимірну математичну модель газодинаміки на основі системи диференціальних рівнянь, для чисельного розв'язання якої використано метод кінцевих різниць. Модель реалізовано у вигляді програмного комплексу в середовищі Lazarus Free Pascal, що забезпечує інтеграцію етапів моделювання: введення початкових параметрів, виконання розрахунків, візуалізацію та аналіз результатів. Проведено перевірку адекватності моделі шляхом порівняння результатів розрахунків із корпоративним програмним комплексом. Отримані результати показали незначні відхилення параметрів (до 6–7 %), що підтверджує достатню точність моделі. Розроблений програмний комплекс може бути ефективним інструментом для інженерних розрахунків, наукових досліджень та навчального процесу у галузі газодинаміки.

**Ключові слова:** газодинаміка, математичне моделювання, чисельні методи, комп'ютерне моделювання, програмний комплекс, програмування.

Сучасний розвиток енергетики, машинобудування, холодильних та кріогенних систем, а також авіаційної та ракетної техніки потребує точного аналізу газодинамічних процесів і широкого застосування цифрових технологій. Рух газових потоків у технічних системах характеризується складною нелінійною поведінкою: стисканням і розширенням газу, турбулентністю, нестационарними змінами тиску та температури, а також взаємодією з поверхнями.

Експериментальні дослідження таких процесів є трудомісткими та ресурсозатратними, тому актуальним стає застосування комп'ютерного моделювання, чисельних алгоритмів і програмних комплексів. Використання мов програмування для реалізації власних моделей дозволяє ефективно прогнозувати поведінку газових потоків, оптимізувати параметри систем і інтегрувати результати моделювання у сучасні цифрові інженерні технології.

У представленому дослідженні складено узагальнену одновимірну математичну модель газодинамічних процесів на основі системи диференціальних рівнянь газової динаміки з граничними умовами. Для визначення параметрів газового потоку в ємності застосовано метод кінцевих різниць. Для уникнення чисельних нестійкостей при розрахунках враховано задачу довільного розриву між вузлами обчислювальної сітки. Перед проведенням основних чисельних

експериментів модель була перевірена на адекватність порівнюючи отримані дані з існуючими результатами. Перевірка моделі на існуючих результатах показала похибку не більше ніж 5 % або температурний перепад близько 20 K [1].

Модель реалізована у середовищі Lazarus Free Pascal [2] як програмний комплекс для чисельного моделювання газодинамічних процесів. Програма забезпечує повну інтеграцію етапів комп'ютерного дослідження: введення початкових параметрів, виконання розрахунків, візуалізацію результатів, їх аналіз та збереження для подальшого використання.

Використання цифрових методів обробки даних забезпечує автоматизовану оптимізацію розрахункової сітки та наочне відображення зміни основних параметрів газового потоку — тиску, температури та швидкості — у різних ділянках досліджуваної області. Це дозволяє підвищити ефективність аналізу газодинамічних процесів та спростити інтерпретацію результатів моделювання.

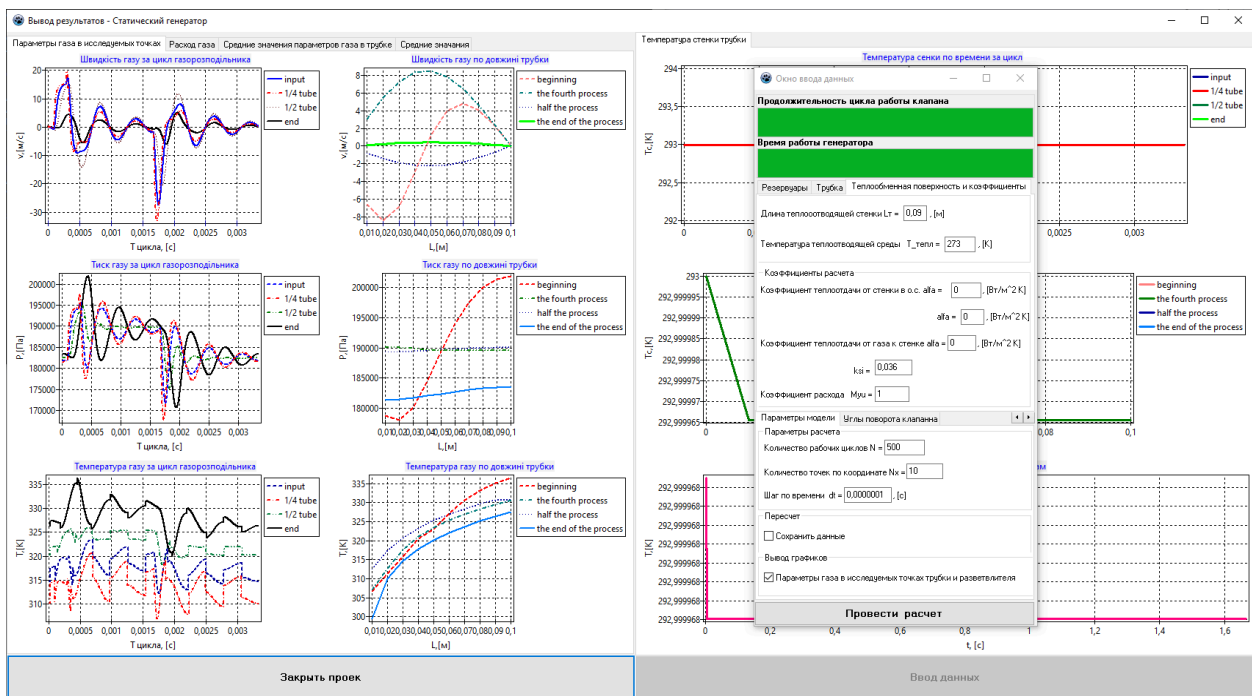


Рис. 1. Інтерфейс розробленого програмного комплексу

Створений програмний комплекс розрахунку газодинамічних параметрів має зрозумілий графічний інтерфейс, що дозволяє користувачу швидко орієнтуватися у робочій області. На головному екрані розташовані панелі для введення початкових і граничних параметрів газодинамічного процесу: геометрія каналу, властивості газу, початкові умови тиску та температури. Результати розрахунків відображаються у вигляді інтерактивних графіків та таблиць, що дозволяє аналізувати динаміку процесу в реальному часі. Користувач може легко змінювати

параметри та повторювати моделювання, спостерігаючи за зміною показників у візуальному форматі.

*Програмний комплекс складається з кількох основних модулів:*

- Модуль введення параметрів — забезпечує гнучкий та зручний спосіб задання початкових умов і фізичних характеристик газу (параметри газу, геометрія каналу, початкові умови, граничні умови).
- Розрахунковий модуль — реалізує одномірні математичні моделі газодинаміки, обчислюючи тиск, температуру, швидкість та щільність газу по всій довжині каналу.
- Модуль візуалізації — будує графіки та таблиці результатів, дозволяє порівнювати різні сценарії і проводити аналіз чутливості.
- Модуль збереження та експорту даних — забезпечує збереження результатів для подальшого використання та документування досліджень.

Завдяки такій структурі програма поєднує зручність користування, швидкість розрахунків і можливість адаптації до різних задач, що робить її ефективним інструментом для досліджень і навчання у галузі газодинаміки.

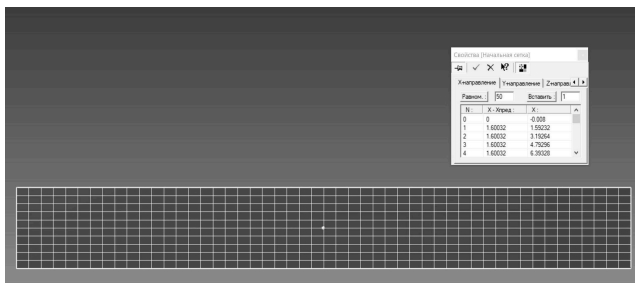


Рис. 2 Розрахункова схема ємності у корпоративному програмному комплексі

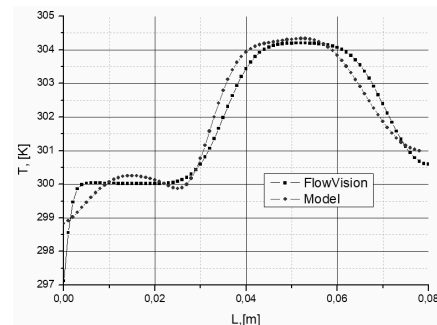


Рис.3 Порівняння результатів розрахунку

Було проведено дослідження збіжності розробленої математичної моделі з результатами, отриманими в середовищі корпоративного програмного комплексу FlowVision (див. рис. 2). Аналіз показав незначні відхилення результатів: по тиску — 6,7 %, по температурі — 6,9 % (див. рис. 3), що підтверджує достатню точність створеної моделі та розробленого програмного комплексу для подальших досліджень газодинамічних процесів [3].

Результати моделювання підтверджують ефективність одновимірних моделей як інструменту для інженерних розрахунків, навчання та наукових досліджень, забезпечуючи швидкий, наочний та достовірний аналіз газодинамічних процесів, а також обґрунтоване прийняття рішень щодо конструктивних і технологічних параметрів систем. У перспективі розвиток

програмних засобів такого типу може бути розширений на багатовимірні моделі для більш детального дослідження складних потокових явищ.

### Список літератури

1. Dymertsov, D. Modeling of Gas-Dynamic Processes of Wave Low-Temperature Heat Generators Dynamic Gas Distribution. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G. (eds) Advanced Manufacturing Processes VI. Interpartner 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. pp 769–779. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-82746-4\\_68](https://doi.org/10.1007/978-3-031-82746-4_68).
2. Lazarus Free Pascal, Official Documentation. – URL: <https://www.lazarus-ide.org/> (дата звернення: 21.02.2026).
3. Dymertsov D. Modeling of processes in gas-dynamic secondary energy generators. Municipal economy of cities. Series: «Information Technology and Engineering». Том 4 (192), с. 39-44. <https://doi.org/10.33042/3083-6727-2025-4-192-39-44>.