

ОГЛЯД ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СИМУЛЯЦІЇ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У доповіді розглянуто сучасний стан та класифікацію програмного забезпечення для моделювання фізичних явищ. Проведено огляд універсальних інженерних пакетів (Multiphysics), систем математичного моделювання, спеціалізованих наукових симуляторів з відкритим кодом та освітніх середовищ. Визначено сфери їх доцільного застосування залежно від складності фізичної задачі та вимог до точності.

Ключові слова: симуляція, фізичні процеси, програмне забезпечення, математичне моделювання, мультифізика, COMSOL, MATLAB.

Abstract

The report considers the current state and classification of software for modeling physical phenomena. A review of universal engineering packages (Multiphysics), mathematical modeling systems, specialized open-source scientific simulators, and educational environments is carried out. The areas of their appropriate application are determined depending on the complexity of the physical problem and accuracy requirements.

Keywords: simulation, physical processes, software, mathematical modeling, multiphysics, COMSOL, MATLAB.

Вступ

Стрімкий розвиток інформаційних технологій докорінно змінив методологію проведення наукових досліджень у галузі фізики та інженерії. Сьогодні обчислювальний експеримент є невід'ємною складовою процесу проектування та вивчення складних систем, виступаючи надійною та економічно вигідною альтернативою дорогим, а подекуди й неможливим для реалізації натурним випробуванням. Актуальність даного дослідження зумовлена постійним зростанням кількості спеціалізованого програмного забезпечення, що створює об'єктивну проблему оптимального вибору інструментарію для вирішення конкретних наукових чи навчальних завдань. Використання невідповідного середовища моделювання може призвести до надмірних витрат обчислювальних ресурсів або отримання фізично некоректних результатів. Метою даної роботи є проведення комплексного огляду та структурної класифікації сучасного програмного забезпечення для симуляції фізичних процесів, що дозволить систематизувати існуючі програмні рішення та визначити критерії їх доцільного застосування залежно від специфіки поставленої фізичної задачі.

Класифікація програмного забезпечення

Сучасний етап розвитку обчислювальної фізики та інженерії характеризується широким впровадженням спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання складних процесів. Залежно від архітектури, застосованого математичного апарату та цільового призначення, існуючі програмні комплекси доцільно класифікувати на кілька основних категорій: універсальні інженерні пакети, середовища математичного моделювання, спеціалізовані наукові симулятори з відкритим вихідним кодом та освітньо-візуальні платформи.

До першої категорії належать комерційні мультифізичні комплекси, які базуються переважно на методі скінченних елементів і є індустріальним стандартом у наукоємних галузях [1]. Провідним представником цього напрямку є програмне середовище COMSOL Multiphysics, ключова перевага якого полягає у можливості зв'язаного моделювання різnorodних фізичних явищ у межах єдиної системи

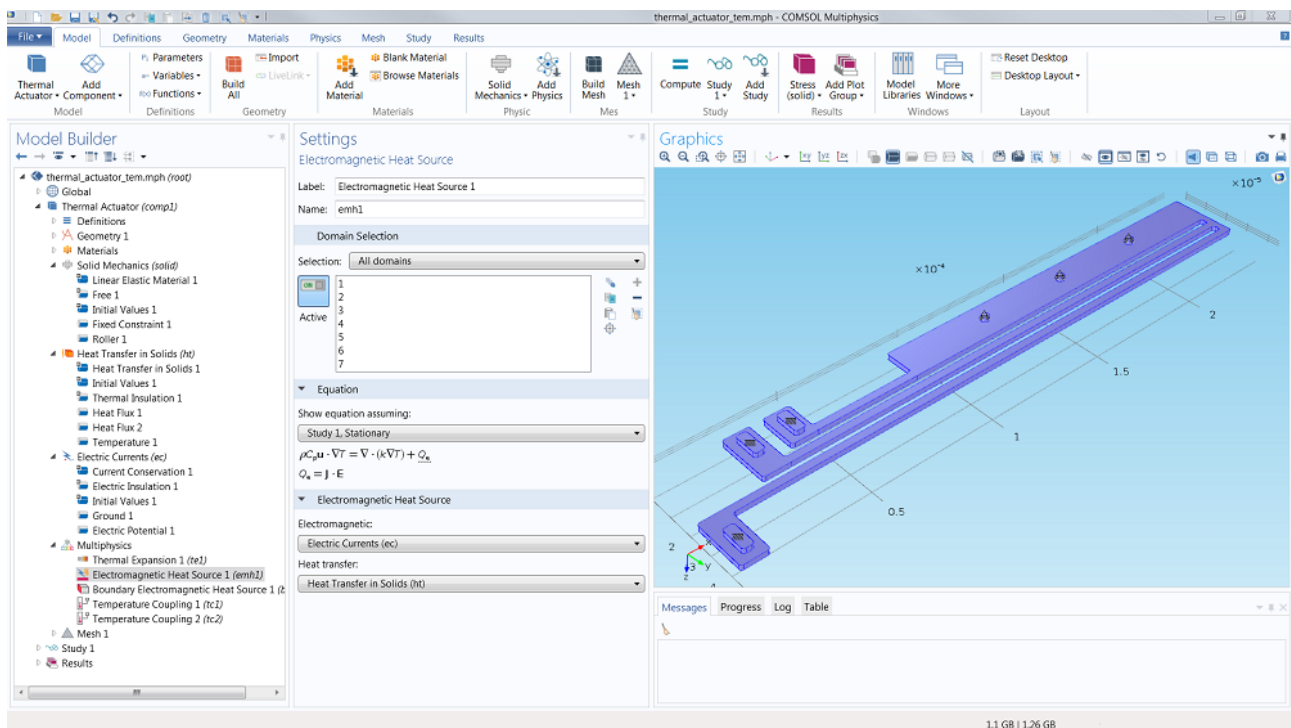


Рисунок 1. Інтерфейс користувача COMSOL Multiphysics: моделювання теплового актуатора із застосуванням електро-термо-структурного зв'язку

[2]. Наприклад, комплекс дозволяє одночасно аналізувати електромагнітне нагрівання робочого елемента та його подальшу термопружну деформацію, що є критично важливим під час проектування мікроелектромеханічних систем та оптичних пристроїв. Іншим потужним інструментом є пакет ANSYS, який вирізняється наявністю глибоко спеціалізованих модулів, зокрема ANSYS Mechanical для аналізу міцності матеріалів та ANSYS Fluent для задач обчислювальної гідрогазодинаміки. Завдяки високій точності розрахунків, ці інструменти широко застосовуються в аерокосмічній галузі, автомобілебудуванні та проектуванні складних інженерних споруд.

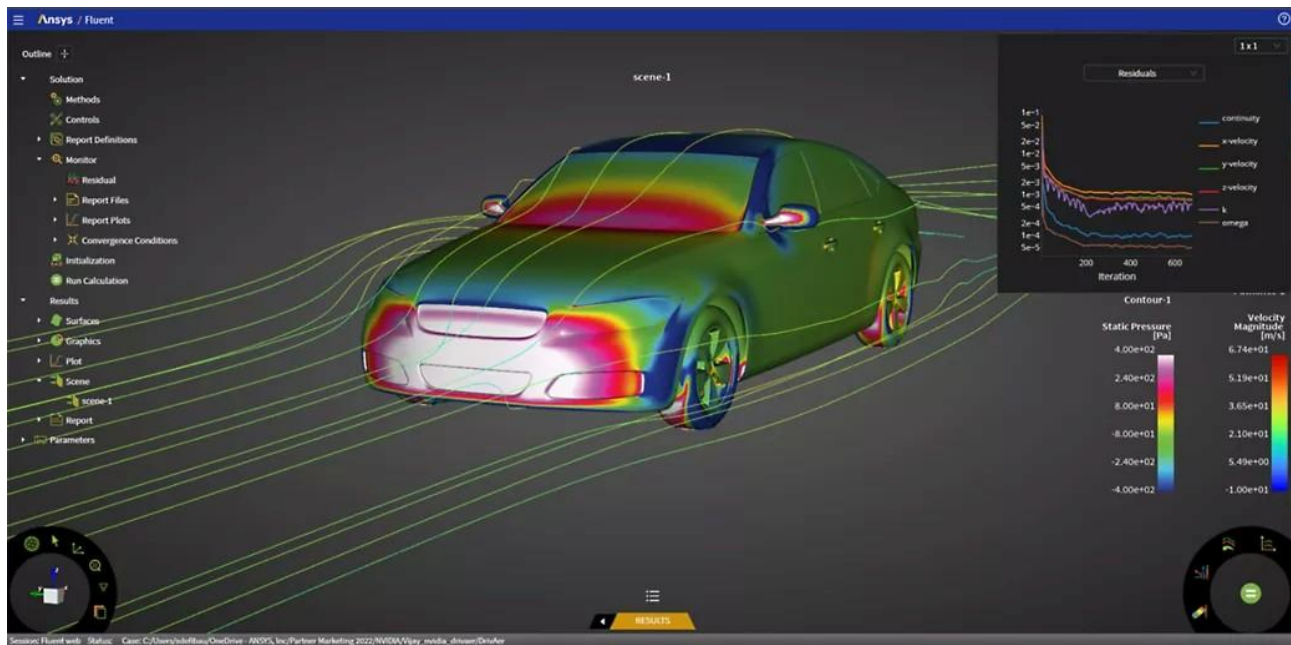


Рисунок 2. Веб-інтерфейс Ansys Fluent (версія 2025 R1): візуалізація аеродинамічного обтікання автомобіля та розподілу тиску

Другу категорію становлять системи математичного моделювання, де фізичні процеси описуються безпосередньо через системи диференціальних рівнянь та логічні блоки. Середовище MATLAB, зокрема його розширення Simulink, забезпечує можливість побудови динамічних моделей складних систем за допомогою візуально-орієнтованого підходу [3].

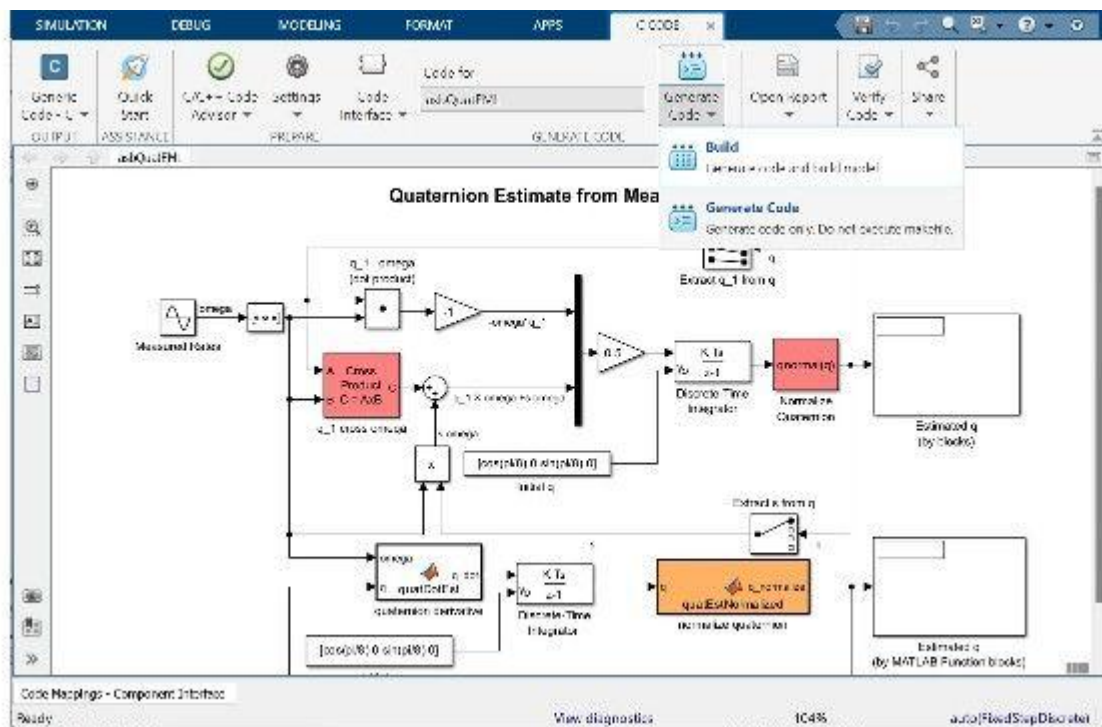


Рисунок 3. Інтерфейс середовища MATLAB Simulink: блок-схема моделі оцінки кватерніонів та процес генерації C-коду

Цей інструмент демонструє високу ефективність у задачах теорії автоматичного керування, робототехніки та обробці сигналів. Водночас для задач теоретичної фізики, де першочерговим є аналітичний підхід, доцільно використовувати Wolfram Mathematica. Цей програмний продукт володіє потужним апаратом символьних обчислень, що дозволяє отримувати розв'язки у вигляді точних аналітичних виразів та здійснювати високоякісну багатовимірну візуалізацію фізичних полів.

Окремої уваги заслуговують спеціалізовані наукові симулятори з відкритим вихідним кодом (open-source), які надають дослідникам повний контроль над обчислювальними алгоритмами. У галузі обчислювальної гідродинаміки стандартом де-факто є пакет OpenFOAM, побудований на методі скінченних об'ємів [4]. Незважаючи на відсутність класичного графічного інтерфейсу, висока гнучкість налаштувань дозволяє ефективно моделювати процеси турбулентності та тепломасообміну на високопродуктивних обчислювальних кластерах під управлінням UNIX-подібних систем. Для задач молекулярної динаміки активно застосовуються такі пакети, як GROMACS або LAMMPS. Вони здатні розраховувати траєкторії руху багатоатомних систем на основі рівнянь ньютонівської механіки з урахуванням міжатомних взаємодій, що знаходить широке застосування в біофізиці, матеріалознавстві та нанотехнологіях.

Останню категорію формують освітньо-візуальні симулятори, використання яких спрямоване на наочну демонстрацію фізичних закономірностей у навчальному процесі. Платформа PhET Interactive Simulations пропонує набір фізично достовірних інтерактивних моделей, які дозволяють досліджувати явища від класичної механіки до квантової фізики шляхом зміни параметрів системи в режимі реального часу [5]. Програмне середовище Algodoo, у свою чергу, є двовимірною системою, яка прораховує кінематичну та динамічну взаємодію об'єктів, що є ефективним інструментом для візуалізації базових фізичних концепцій на етапі фундаментальної підготовки фахівців.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика програмного забезпечення для фізичного моделювання

Назва ПЗ	Категорія	Тип ліцензії	Основна сфера застосування	Складність освоєння
COMSOL Multiphysics	Мультифізика	Комерційна	Зв'язані фізичні поля (MEMS, акустика, оптика)	Висока
ANSYS	Інженерний аналіз	Комерційна	Аеродинаміка, міцність конструкцій, гідродинаміка	Висока
MATLAB / Simulink	Математичне моделювання	Комерційна	Динамічні системи, робототехніка, обробка сигналів	Середня
Wolfram Mathematica	Математичне моделювання	Комерційна	Теоретична фізика, символічні обчислення	Середня
OpenFOAM	Науковий симулятор	Відкритий код	Обчислювальна гідрогазодинаміка (CFD)	Дуже висока
GROMACS	Науковий симулятор	Відкритий код	Молекулярна динаміка, біофізика	Висока
PhET Simulations	Освітній симулятор	Безкоштовна	Візуалізація базових законів фізики	Низька
Algodoo	Освітній симулятор	Безкоштовна	2D-механіка та оптика (навчальні моделі)	Низька

Аналіз даних таблиці 1 свідчить про те, що вибір інструментарію визначається компромісом між складністю освоєння системи та її здатністю до розрахунку вузькоспеціалізованих фізичних явищ. Зокрема, відкрите програмне забезпечення вимагає глибшої теоретичної підготовки, проте надає повний доступ до обчислювальних алгоритмів.

Висновки

У результаті проведеного аналізу встановлено, що сучасний ринок програмного забезпечення для моделювання фізичних процесів пропонує широкий спектр рішень, які чітко диференціюються за своїм архітектурним підходом та цільовим призначенням. Вибір конкретного інструменту безпосередньо залежить від математичної складності досліджуваної системи, необхідного рівня деталізації та наявних апаратних потужностей. Для вирішення комплексних промислових задач, що вимагають врахування зв'язаної взаємодії різних фізичних полів, найбільш ефективним є використання комерційних мультифізичних пакетів. У випадках, коли пріоритетом є аналітичний підпис та оперування чистими математичними моделями, доцільно застосовувати спеціалізовані математичні середовища. Водночас для проведення фундаментальних досліджень у вузьких галузях фізики оптимальним вибором залишаються наукові симулятори з відкритим вихідним кодом, оскільки вони забезпечують дослідникам максимальну гнучкість налаштувань розрахункового ядра. Разом з тим, в освітньому процесі для наочної візуалізації фундаментальних законів цілком виправданим є використання полегшених інтерактивних платформ. Отже, глибоке розуміння функціональних меж кожної категорії програмного забезпечення є критично важливим фактором для успішного планування та реалізації сучасного обчислювального експерименту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Комп'ютерне моделювання фізичних процесів та систем : навч. посіб. / В. М. Сидоренко, О. П. Ткачук. — Київ : Освіта України, 2021. — 245 с.
2. Використання методу скінченних елементів у задачах прикладної фізики (на базі COMSOL Multiphysics) / І. В. Коваленко // Сучасна інженерія та наука. — 2022. — № 4. — С. 56–63.
3. MATLAB & Simulink – MathWorks [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html> (дата звернення: 16.03.2026).
4. OpenFOAM: The Open Source CFD Toolbox [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.openfoam.com> (дата звернення: 16.03.2026).
5. PhET Interactive Simulations [Електронний ресурс] / University of Colorado Boulder. — Режим доступу: <https://phet.colorado.edu/uk/> (дата звернення: 16.03.2026).

Котик Валентин Іванович – студент групи Зкн-256, Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kotikvalentin6@gmail.com.

Науковий керівник: **Мартинюк Володимир Валерійович** – Канд. техн. наук, доцент, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Kotyik Valentyn Ivanovych – Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kotikvalentin6@gmail.com.

Supervisor: ***Martyniuk Volodymyr Valeriyovych*** – Candidate of technical sciences, Docent, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia