

УДК 378.937:53

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ КІЛЬКОХ ЗАРЯДІВ У MATLAB ПРИ ВИКЛАДАННІ ФІЗИКИ НА ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЯХ

Одновол Д.Г., старший викладач

e-mail: dmytro.odnovol@tsatu.edu.ua

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра
Моторного

Актуальність та постановка проблеми. У сучасному освітньому процесі все більшого значення набуває використання комп'ютерних технологій для вивчення складних фізичних явищ. Інженерні спеціальності вимагають не лише глибоких теоретичних знань, але й вміння застосовувати ці знання на практиці. У цьому контексті чисельне моделювання та візуалізація фізичних процесів виступають важливим інструментом підвищення якості навчання. Одним із таких прикладів є вивчення електричних полів, яке традиційно базується на аналітичних розрахунках та графічному зображенні результатів. Метою роботи є продемонструвати можливості MATLAB для моделювання та візуалізації електричних полів кількох зарядів, а також оцінити можливості використання таких моделей у навчанні фізики студентів інженерних спеціальностей. Завдання дослідження: розробити модель для чисельного розрахунку та візуалізації електричних полів кількох зарядів у MATLAB та інтегрувати розроблену модель у навчальний процес. Очікується, що впровадження чисельних моделей у навчальний процес сприятиме покращенню засвоєння матеріалу, формуванню практичних навичок та підвищенню зацікавленості студентів у вивченні фізики.

Основні матеріали дослідження. Електростатика – це розділ фізики, що вивчає взаємодію нерухомих електричних зарядів. Основою для опису електричних полів є закон Кулона, який визначає силу взаємодії між двома точковими зарядами:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$

де F - сила взаємодії, q_1, q_2 величини зарядів, r_{12}^2 - відстань між зарядами, – k - електростатична стала.

Електричне поле створюється зарядами і характеризується напруженістю, яка для точкового заряду визначається формулою:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

де $\vec{E}$ – напруженість електричного поля.

Принцип суперпозиції дозволяє обчислювати результуюче поле від декількох зарядів як векторну суму полів, створених кожним із них:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i(\vec{r})$$

Ці математичні основи є базовими для побудови моделей електричних полів у середовищі MATLAB [1].

MATLAB як інструмент для моделювання фізичних процесів. MATLAB – це високорівнева інтерактивна платформа для чисельного аналізу, що має вбудовані функції для роботи з векторами, матрицями, графікою та моделюванням. У контексті задач електростатики MATLAB пропонує такі ключові можливості:

1. Розв'язання задач електростатики:

- Обчислення електричних полів у довільній точці простору.
- Робота з векторними полями та обчислення векторних сум.

2. Графічна візуалізація:

- Побудова графіків векторних полів.
- Створення ізоліній напруженості поля.
- Візуалізація взаємодії полів кількох зарядів у тривимірному просторі.

3. Інтерактивні можливості:

- Використання слайдерів та інтерфейсів для зміни параметрів моделі в реальному часі.
- Анімація динамічних змін полів.

Особливістю MATLAB є його можливість швидко та ефективно обробляти великі обсяги даних, що дозволяє проводити точні розрахунки навіть для складних конфігурацій заряджених систем. Це робить його ідеальним вибором для візуалізації електричних полів у навчальних цілях.

Методика моделювання та візуалізації електричних полів. Моделювання електричних полів у середовищі MATLAB базується на застосуванні чисельних методів для розрахунку напруженості поля в кожній точці простору. Основні етапи розробки алгоритму включають:

1. Задання параметрів системи зарядів:

- Координати кожного заряду.
- Величини зарядів (у Кулонах).

2. Обчислення напруженості поля:

- Створення регулярної сітки точок для аналізу поля.
- Застосування формули напруженості для кожного заряду.

3. Суперпозиція полів:

- Сума векторів напруженості від усіх зарядів у кожній точці.

4. Візуалізація результатів:

- Побудова векторних діаграм для наочного зображення напрямків та величин поля.
- Створення ізоліній напруженості для представлення структури поля.
- Візуалізація у 3D-просторі для аналізу складних конфігурацій зарядів.

5. Інтерактивні можливості:

- Додавання змінних параметрів для інтерактивного налаштування зарядів і їхніх положень.

Приклади реалізації моделі в MATLAB. Для моделювання електричного поля від кількох зарядів у MATLAB можна створити програму, яка обчислює вектори електричного поля в заданих точках простору. Код програми складається з наступних частин

1. Введення параметрів: Визначаємо значення зарядів, їхні координати та величину діелектричної сталої.

2. Побудова сітки точок: Обчислюємо значення електричного поля в кожній точці простору, використовуючи сітку, створену функцією `meshgrid`.

3. *Обчислення компонентів поля:* Для кожного заряду визначаємо компоненти електричного поля E_x та E_y кожній точці сітки.

4. *Сумування полів:* Додаємо поля від усіх зарядів, щоб отримати загальне електричне поле.

5. *Візуалізація:* Створюємо векторне поле за допомогою quiver, а також показуємо заряди як точки на графіку.

Цей код дає наочне зображення електричного поля навколо кількох зарядів. Результат роботи програми представлено на рисунку 1.

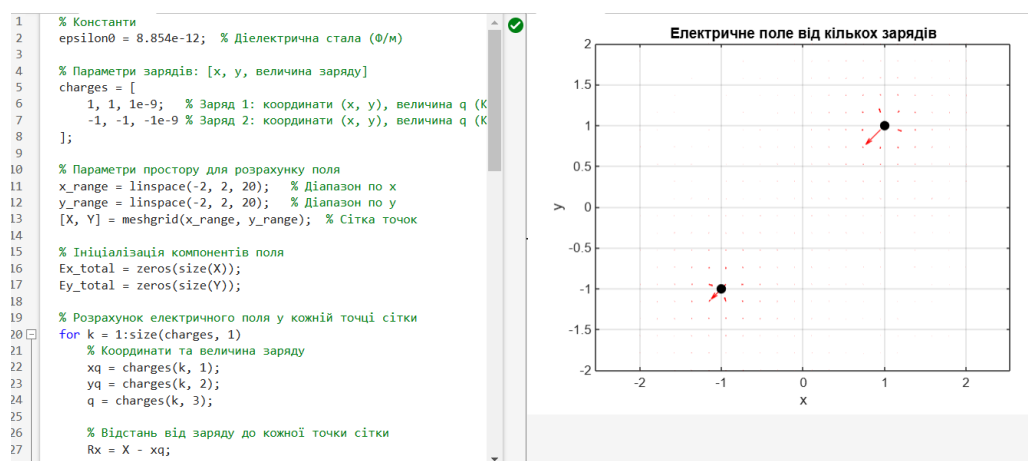


Рисунок 1 – Скріншот роботи програми для моделювання електричного поля системи двох зарядів

Для демонстрації алгоритму також можна розглянути систему з трьох точкових зарядів, розташованих у площині (Рис 2). Алгоритм моделювання реалізується в наступних кроках:

1. Ініціалізація параметрів.
2. Розрахунок напруженості поля.
3. Побудова графіків.

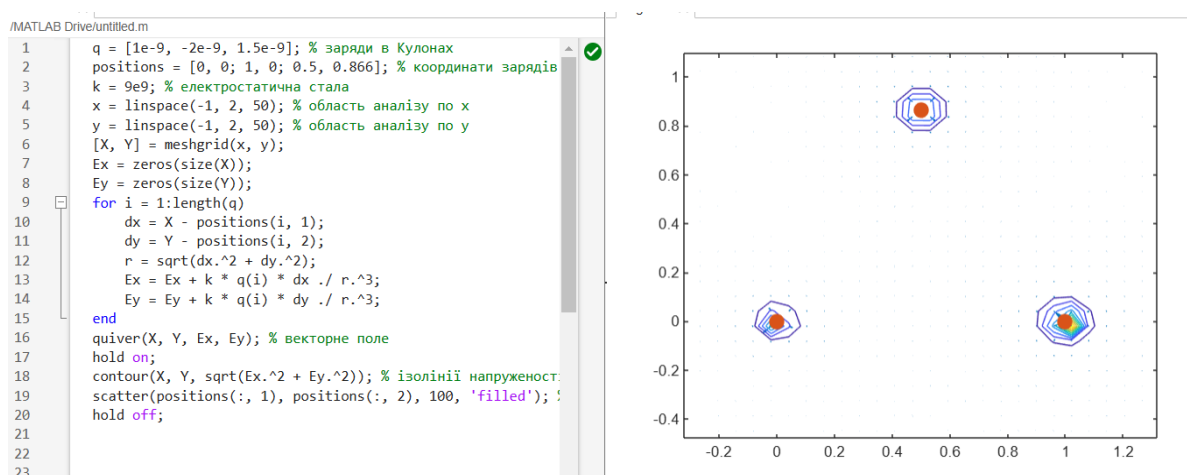


Рисунок 2 – Скріншот роботи програми для моделювання електричного поля системи трьох зарядів

Щоб змодельовати систему трьох зарядів у тривимірному просторі в MATLAB, можна створити модель, що описує взаємодію між зарядами через електричне поле або потенціал. Ось простий крок за кроком план, як це можна зробити:

1. *Визначте положення зарядів у просторі*

Припустимо, ми маємо три заряди, кожен з яких має певну позицію в тривимірному просторі. Задайте координати для кожного заряду в вигляді векторів.

2. *Визначте функцію для розрахунку електричного поля*

Електричне поле E в точці r від заряду q можна визначити через формулу:

$$\vec{E} = \frac{kq(\vec{r} - \vec{r}_0)}{|\vec{r} - \vec{r}_0|^3}$$

3. *Визначте точку, де хочете обчислити електричне поле*

Нехай точка, в якій обчислюватимемо поле, має координати $r=[x,y,z]$.

4. *Обчисліть сумарне електричне поле*

Обчислимо сумарне електричне поле, яке є сумою полів від трьох зарядів.

5. *Візуалізація результату*

Можна візуалізувати розташування зарядів і результуюче поле. Для цього можна використати графік в тривимірному просторі (Рис. 3).

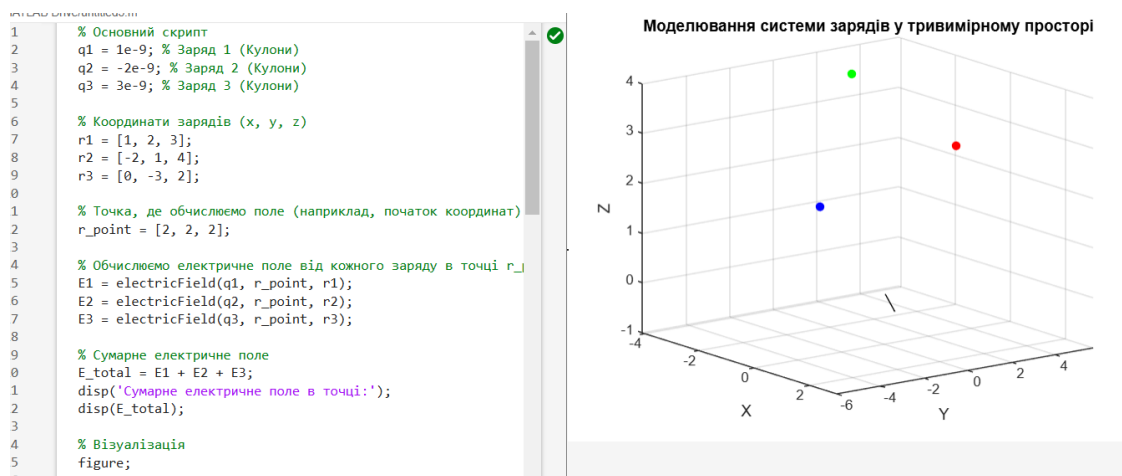


Рисунок 3 – Скріншот роботи програми для моделювання електричного поля системи трьох зарядів в тривимірному просторі

Цей код є основою для моделювання системи зарядів, і його можна доповнювати для більш складних моделей, таких як симуляція потенціалу, графіки поверхонь потенціалу чи електричних полів.

Також можна запропонувати ще один підхід для моделювання електричного поля [2]. На рис. 4 та рис. 5 представлений результат роботи програми яка обчислює електричні поля, викликані диполями у двовимірній та тривимірній площині, використовуючи закон Кулона у MATLAB.

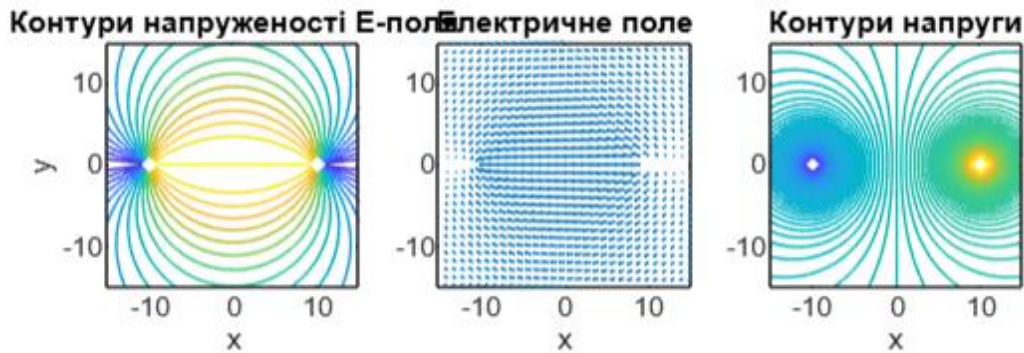


Рисунок 4 – Скріншот роботи програми для моделювання електричного поля диполя в двовимірному просторі

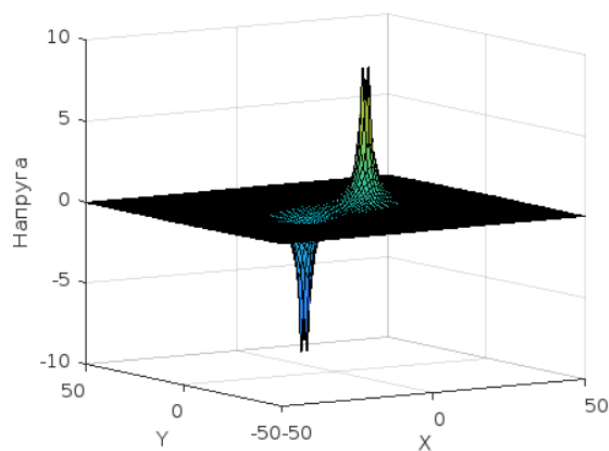


Рисунок 5 – Скріншот роботи програми для моделювання електричного поля диполя в тривимірному просторі

Метою програми є демонстрація принципів обчислення та візуалізації електричних полів диполя.

Основні етапи роботи коду:

1. Ініціалізація параметрів:

- Визначаються фізичні константи, такі як коефіцієнт k та відносна діелектрична проникність ϵ .
- Задаються кількість точок сітки для моделювання простору, кількість зарядів та їх координати у просторі.
- Ініціалізуються масиви для компонент електричного поля E_x , E_y та інших необхідних параметрів.

2. Обчислення електричних полів:

- Для кожного заряду обчислюються відстані до всіх точок сітки.
- На основі рівнянь Кулона визначаються компоненти електричного поля E_x , E_y у кожній точці сітки.
- Сумарне електричне поле отримується шляхом підсумовування внесків від кожного заряду.

3. Візуалізація результатів:

- Використовуються функції MATLAB для побудови графіків, що дозволяють наочно продемонструвати характеристики електричного поля: контурні діаграми для напруженості електричного поля та напруги; векторне поле для

демонстрації напрямку та величини електричного поля; тривимірний графік поверхні для зображення розподілу напруги у просторі.

Освітній потенціал моделі. Запропонований програмний код дає змогу студентам:

- Вивчати взаємодію електричних зарядів у просторі та характер електричних полів.
- Експериментувати з параметрами, такими як кількість зарядів, їхні величини та координати.
- Аналізувати результати через інтерактивні графіки.

Висновки. У процесі дослідження було розглянуто методи візуалізації електричних полів кількох зарядів за допомогою MATLAB. Використовуючи програмне забезпечення, було змодельовано розташування систем двох-трьох зарядів у двовимірному та тривимірному просторі та обчислено результуюче електричне поле в заданій точці. Візуалізація результатів через графіки допомогла наочно продемонструвати взаємодію зарядів і характер їхнього впливу на навколишнє середовище. Зокрема, було показано, як змінюється напрямок та інтенсивність електричного поля в залежності від положення зарядів та їхніх значень.

MATLAB є потужним інструментом для вивчення фізики, особливо в галузі електростатики, завдяки своїм можливостям для математичного моделювання та візуалізації. У навчальному процесі MATLAB дає можливість студентам наочно спостерігати за фізичними явищами, що сприяє кращому розумінню складних теоретичних концепцій. Завдяки інтерактивному середовищу програмування, студенти можуть змінювати параметри моделі, експериментувати з різними сценаріями і миттєво бачити результат змін, що значно покращує процес навчання. MATLAB дозволяє також виконувати складні обчислення, що робить його незамінним інструментом для аналізу фізичних систем на інженерних спеціальностях.

Розроблена модель електричних полів зарядів в MATLAB може бути розширена для дослідження інших важливих фізичних тем. Одним з напрямків розширення є електродинаміка, де можна досліджувати часозалежні електричні та магнітні поля, а також їх взаємодію з рухомими зарядженими частинками. MATLAB також дозволяє моделювати різні типи магнітних полів, такі як поля, створювані струмами в провідниках, і їх взаємодію з електричними полями.

Можна також розширити модель для вивчення різних фізичних явищ, таких як інтерференція електричних і магнітних хвиль, явища, що виникають при зарядженні та розрядженні об'єктів, а також моделювання електромагнітних хвиль у вакуумі чи в середовищах із різною електричною проникністю.

Загалом, MATLAB надає широкі можливості для моделювання та вивчення не тільки електростатики, але й інших важливих тем фізики, що дає можливість інтегрувати теоретичні знання з практичними навичками та сприяє розвитку критичного мислення у студентів інженерних спеціальностей.

Список використаних джерел:

1. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики: У 3 кн. Кн. 2. Електрика і магнетизм: навч. посіб. – К.: Вища шк., 2003. – 278 с.
2. Calculating Electric dipole using Coulomb's law with Quiver. MathWorks - Maker of MATLAB and Simulink - MATLAB & Simulink. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/793497-calculating-electric-dipole-using-coulomb-s-law-with-quiver> (дата звернення: 05.12.2024).