

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра цифрових технологій в енергетиці

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Наталія АУШЕВА

« ____ » _____ 2023 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою

«Цифрові технології в енергетиці»

зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

на тему: Моделювання параметрів системи намагнічування магнітотвердих матеріалів

Виконав: студент 2 курсу, групи ТР-23мп

Бондарчук Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник доцент, к. т. н. Олександр КРЯЧОК

(посада, вчене звання, науковий ступінь, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Київ – 2023

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ АТОМНОЇ ТА ТЕПЛОВОЇ
ЕНЕРГЕТИКИ

Кафедра ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

За освітньою програмою «Цифрові технології в енергетиці»

Спеціальності 122 Комп'ютерні науки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Наталія АУШЕВА

(підпис)

« ____ » _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Бондарчуку Олександрю Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Моделювання параметрів системи намагнічування
магнітотвердих матеріалів

Науковий керівник Крячок Олександр Степанович, к. т. н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «06» листопада 2023 року № 5152-с

2. Строк подання студентом дисертації: 18 грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: мова програмування Python, інтегроване середовище
розробки PyCharm.

4. Перелік завдань, які потрібно розробити: Провести аналіз існуючих платформ
для моделювання магнітного поля, запропонувати створити власний інструмент,
розробити власний інструмент, провести чисельні експерименти з моделювання
напруженості магнітного поля.

5. Орієнтований перелік ілюстративного матеріалу: Екранні форми, що
демонструють інтерфейс програми, а також результати моделювання.

6. Орієнтований перелік публікацій Бондарчук О.О., Крячок О.С., Моделювання параметрів системи намагнічування магнітотвердих матеріалів. Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики». м. Київ, 25–28 квіт. 2023 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. – Т. 2. – С. 176–177.

7. Дата видачі завдання «24» жовтня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	строки виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вивчення та аналіз задачі	01.09.23 – 10.09.23	виконано
2	Проектування архітектури системи	11.09.23 – 19.09.23	виконано
3	Розробка структур окремих підсистем	20.09.23 – 01.10.23	виконано
4	Програмна реалізація системи	02.10.23 – 26.10.23	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	27.10.23 – 30.11.23	виконано
6	Передзахист	04.12.23 – 06.12.23	виконано
7	Подання документів на кафедру	18.12.23	
8	Захист		

Студент _____
(підпис)

Олександр БОНДАРЧУК
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Науковий керівник _____
(підпис)

Олександр КРЯЧОК
(ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Актуальність теми дослідження. Магнітні матеріали у сучасному світі відіграють визначальну роль у багатьох галузях науки та техніки. Вони застосовуються в електроніці, виробництві потужних магнітів для медичних пристроїв, створенні ефективних систем зберігання енергії, розширенні можливостей магнітної терапії та навіть у транспортних засобах майбутнього, які використовують магнітні полярності для руху. Вивчення їхніх магнітних властивостей та можливість моделювання систем намагнічування має важливе значення для оптимізації дизайну та виробництва пристроїв і технологій.

Метою дослідження є розробка програмного забезпечення, що дозволить користувачу зручно та швидко моделювати систему намагнічування магнітотвердих матеріалів.

Завдання дослідження:

- Провести аналіз існуючих платформ для моделювання магнітного поля.
- Запропонувати створити власний інструмент.
- Розробити власний інструмент.
- Провести чисельні експерименти з моделювання напруженості магнітного поля.

Об'єкт дослідження – комп'ютерні-інформаційні системи та методи намагнічування магнітотвердих матеріалів.

Предмет дослідження – параметри системи намагнічування магнітотвердих матеріалів.

Практична цінність отриманих в роботі результатів може бути корисною для широкого кола користувачів, включаючи:

- Студентів та викладачів університетів та коледжів.
- Інженерів, що працюють у сферах електроніки та виробництва пристроїв.

- Підприємства, що працюють з магнітними матеріалами.
- Дослідників магнітних полів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення даної роботи були викладені на: XX Міжнародній науковій та практичній конференції молодих вчених і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики». м. Київ, 25–28 квіт. 2023 р.

Дисертація складається зі вступу, шістьох розділів та висновків. Повний обсяг дисертації складає 89 сторінок, 14 таблиць, 51 рисунок та 3 сторінки списку використаних джерел у кількості 29 найменувань.

Ключові слова: магніт, намагніченість, магнітне поле, моделювання, Python, Tkinter, Matplotlib.

ABSTRACT

Relevance of the research topic. Magnetic materials play a crucial role in various fields of science and technology in the modern world. They are utilized in electronics, the production of powerful magnets for medical devices, the creation of efficient energy storage systems, the expansion of magnetic therapy possibilities, and even in future transportation vehicles that use magnetic polarities for movement. Studying their magnetic properties and the ability to model magnetization systems are essential for optimizing the design and production of devices and technologies.

The research aims of this work is to develop software that will allow users to conveniently and quickly model the magnetization system of hard magnetic materials.

Research Tasks:

- Conduct an analysis of existing platforms for modeling magnetic fields.
- Propose creating our own tool.
- Develop our own tool.
- Conduct numerical experiments on modeling the intensity of the magnetic field.

Object of study – computer information systems and methods of magnetization of hard magnetic materials.

Subject of study – parameters of the magnetization system of hard magnetic materials.

The practical value of the obtained results in this work can be beneficial for a wide range of users, including:

- Students and educators at universities and colleges.
- Engineers working in the fields of electronics and device manufacturing.
- Companies dealing with magnetic materials.
- Researchers in the field of magnetic fields.

Approbation of the results of the dissertation. The main points of this work were presented at the XX International scientific and practical conference of young scientists and students “Modern problems of scientific support of power engineering”. Kyiv, April 25–28, 2023.

The dissertation consists of an introduction, six chapters, and conclusions. The complete volume of the dissertation is 89 pages, including 14 table, 51 figures, and a list of 29 references spanning 3 pages.

Keywords: magnet, magnetization, magnetic field, modeling, Python, Tkinter, Matplotlib.

ЗМІСТ

СКРОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	10
ВСТУП.....	11
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ НАМАГНІЧУВАННЯ МАГНІТОТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ	12
1.1 Опис завдань.....	12
Висновки до розділу 1	13
2 ОГЛЯД ВІДОМИХ ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНИХ СИСТЕМ.....	15
2.1 Основні визначення	15
2.2 Програмний комплекс COMSOL Multiphysics	17
2.3 Програмний комплекс ANSYS Maxwell.....	19
2.4 Бібліотека Magpylib	20
Висновки до розділу 2	23
3 ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ЗАСТОСУНКУ	25
3.1 Вибір мови програмування	25
3.2 Вибір бібліотек та програмних додатків	27
Висновки до розділу 3	34
4 ОПИС ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОДАТКУ	36
4.1 Використані математичні моделі	36
4.2 Загальна структура додатку	36
4.3 Опис методів програмної системи	38
Висновки до розділу 4	44
5 РОБОТА КОРИСТУВАЧА З СИСТЕМОЮ.....	46
5.1 Інсталяція та системні вимоги	46
5.2 Робота користувача з додатком	46
5.3 Приклад роботи програми.....	66
Висновки до розділу 5	70

6 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ.....	72
6.1 Реалізація стартап-проекту	72
Висновки до розділу 6	78
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	82
Додаток А.....	85

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

JSON – JavaScript Object Notation – запис об’єктів JavaScript.

API – Application Programming Interface – програмний інтерфейс додатку.

SI – Міжнародна система одиниць.

GUI – Graphical User Interface – Графічний інтерфейс користувача.

LaTeX – мова розмітки даних та пакет макросів.

ПК – персональний комп’ютер.

IDE – integrated development environment – Інтегроване середовище розробки.

DPI – Dots per inch – кількість точок на дюйм.

NaN – Not-a-Number – не число.

ВСТУП

Розробка програмного забезпечення для моделювання систем намагнічування є ключовим аспектом в галузі матеріалознавства та технічних наук. Вона надає інженерам та науковцям потужний інструмент для аналізу магнітних явищ у матеріалах. Такі інструменти стають актуальними в умовах зростаючої конкуренції та потреби в швидкому розробленні та оптимізації нових технологій.

Актуальність роботи визначається рядом факторів. Магнітні матеріали в сучасному світі займають центральне місце в численних галузях науки та техніки. Вони використовуються у розробці електроніки, виробництві потужних магнітів для медичних пристроїв, створенні ефективних систем зберігання енергії, розширенні можливостей магнітної терапії, та навіть у транспортних засобах майбутнього, які використовують силу магнітних полярностей для руху. Вивчення їхніх магнітних властивостей та здатність моделювати системи намагнічування є критичним для оптимізації дизайну та виробництва пристроїв і технологій.

Магнітотверді матеріали, також відомі як постійні магніти, є матеріалами, які здатні зберігати свою магнетичну властивість. Вони знаходять застосування в різних галузях промисловості, таких як гібридні та електричні двигуни, що використовуються в автомобільному та аерокосмічному секторах. У цих сферах їхні характеристики мають важливе значення і вимагають налагодження [1].

Загалом, актуальність цієї роботи полягає у тому, що вона спрямована на вирішення важливих завдань у галузі матеріалознавства. Вона надає інструменти для подальших досліджень та розвитку в цій області, допомагаючи розширювати можливості використання магнітних матеріалів у нашому сучасному технологічному світі.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ НАМАГНІЧУВАННЯ МАГНІТОТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

Метою даної роботи є розробка програмного забезпечення, що дозволить користувачу зручно та швидко моделювати систему намагнічування магнітотвердих матеріалів.

1.1 Опис завдань

Для досягнення поставленої мети було сформовано список конкретних завдань, які потрібно виконати протягом дослідження:

- Провести аналіз існуючих математичних моделей для обчислення значень магнітного поля.
- Створити графічний інтерфейс користувача (GUI), який дозволить зручно вводити параметри моделювання та візуалізувати результати.
- Реалізувати можливість вводити дані вручну та за допомогою JSON файлу [2].
- Розробити функції для моделювання системи намагнічування магнітотвердих матеріалів, зокрема, визначення намагніченості в різних точках на площині.
- Реалізувати можливість налаштування вікна виведення графічних результатів моделювання.
- Реалізувати можливість збереження графічних та чисельних результатів моделювання для їх подальшого аналізу за допомогою графіків та чисельних значень.

У ході створення зазначеного програмного продукту буде використовуватися мова програмування Python. Інтерфейс користувача буде розроблено з використанням бібліотеки Tkinter, для оновленого вигляду інтерфейсу також буде використано доповнення CustomTkinter. Розроблений програмний продукт може бути корисною для широкого кола користувачів, включаючи:

- Дослідники магнітних полів, зможуть використовувати цю програму для моделювання та аналізу результатів, спрощуючи свою роботу.
- Інженери та розробники: Інженери, що працюють у сферах електроніки та виробництва пристроїв, зможуть використовувати цю програму для оптимізації дизайну та функціональності своїх пристроїв.
- Студенти та освітні заклади: Студенти та викладачі університетів та коледжів можуть використовувати програму для навчання та виконання наукових проектів у галузі матеріалознавства та фізики.
- Промислові підприємства: Підприємства, що працюють з магнітними матеріалами, зможуть використовувати цю програму для оптимізації виробництва та контролю якості.

Отже, ця програма може знайти своє застосування у різних галузях та допомогти вирішувати практичні завдання, пов'язані з моделюванням магнітних систем.

Висновки до розділу 1

У цьому розділі було представлено основну мету роботи – розробку програмного забезпечення для моделювання систем намагнічування магнітотвердих матеріалів. Для досягнення цієї мети було сформульовано конкретні завдання, які включали аналіз математичних моделей, створення

графічного інтерфейсу користувача, реалізацію введення даних та можливості збереження результатів моделювання.

Важливо відзначити, що обраною мовою програмування для цього проекту є Python, а інтерфейс користувача буде створено з використанням бібліотеки Tkinter та доповнення CustomTkinter для поліпшеного вигляду інтерфейсу.

Усі вказані завдання та реалізації відповідають потребам користувачів, забезпечуючи зручність та швидкість у використанні програми. Крім того, було визначено різноманітні сфери застосування розробленого продукту, такі як наука, інженерія, освіта та промисловість.

Отже, даний розділ не лише визначає цільові завдання та методи їх виконання, але й надає відомості про можливі області використання програмного продукту, підкреслюючи його потенційну користь для широкого кола користувачів.

2 ОГЛЯД ВІДОМИХ ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ МАГНІТНИХ СИСТЕМ

У цьому розділі буде проведено огляд існуючих програмних рішень, призначених для моделювання параметрів системи намагнічування магнітотвердих матеріалів.

2.1 Основні визначення

Магнітні поля є важливими об'єктами дослідження в багатьох галузях науки та технології. Розрахунок та моделювання магнітних полів є необхідними для аналізу та проектування пристроїв, систем та об'єктів, що мають взаємодію з магнітними полями.

Магнітне поле – векторне поле в околицях магніту (рисунок 2.1), електричного струму або змінного електричного поля, в якому спостерігаються магнітні сили.

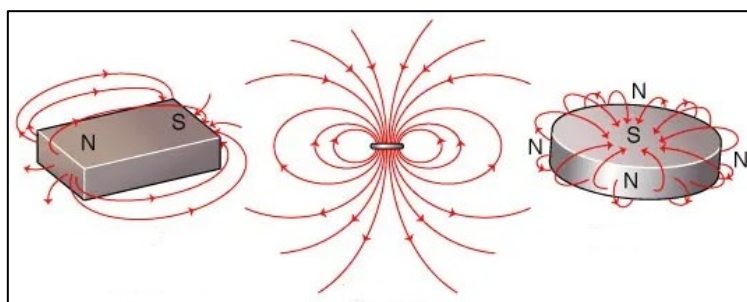


Рисунок 2.1 – Магніти та пов'язані з ними лінії магнітного поля

Магнітні поля змушують електрично заряджені частинки рухатися по круговій або гвинтовій траєкторії.

Ця сила, що діє на електричні струми в дротах у магнітному полі, лежить в основі роботи електродвигунів (рисунок 2.2) [3].



Рисунок 2.2 – Кроковий електродвигун

Напруженість магнітного поля – це міра інтенсивності магнітного поля в певній області цього поля. Напруженість магнітного поля зазвичай позначається латинською літерою H , вимірюється в амперах на метр (А/м), як визначено Міжнародною системою одиниць (СІ). Ампер і метр є основними одиницями СІ. Ампер – міра електричного струму, а метр – міра довжини [4].

Магнітні матеріали – це матеріали, на які можуть впливати зовнішні електромагнітні поля в їх оточенні [5]. Серед поширених елементів високими феромагнітними властивостями характеризуються залізо, кобальт і нікель, серед рідкісноземельних – диспрозій, тербій, гадоліній, гольмій [6].

Призначення постійного магніту – створити магнітне поле в певному об'ємі простору. Магнітне поле може бути створено струмом у провіднику або полюсами в магніті. Для багатьох застосувань постійний магніт є кращим вибором, оскільки він забезпечує постійне поле без постійної витрати електроенергії та без утворення тепла. Магніт можна розглядати як накопичувач енергії. Ця енергія потрапляє в нього під час першого намагнічення і залишається в магніті, якщо він правильно виготовлений і з ним правильно поводитися, на

невизначений термін. Одним словом, магнетизм постійний. Крім того, енергія магніту, яка є головним чином енергією його зовнішнього поля, завжди доступна для використання і не виснажується під час повторного використання, як енергія батареї, оскільки магніт не впливає на навколишнє середовище [7].

2.2 Програмний комплекс COMSOL Multiphysics

COMSOL Multiphysics – це потужний і універсальний пакет програмного забезпечення, який знаходить широке застосування в галузі наукових досліджень, розробок та навчання [8]. Приклад роботи даного програмного забезпечення наведено на рисунку 2.3.

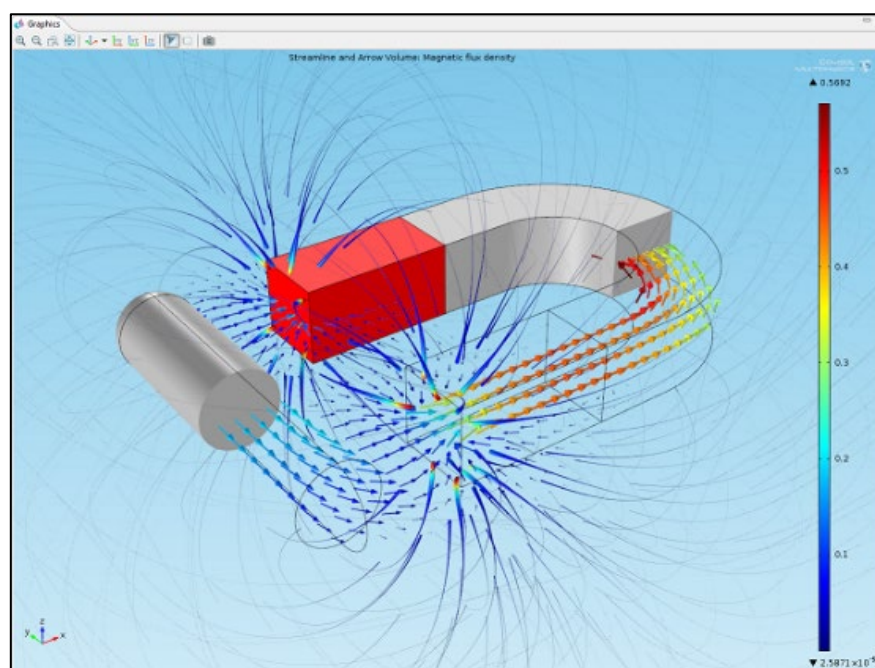


Рисунок 2.3 – COMSOL Multiphysics

Він використовується для комп'ютерних симуляцій різноманітних процесів і систем у різних галузях техніки та виробництва.

Цей пакет програмного забезпечення дозволяє моделювати конструкції, пристрої та процеси, що охоплюють широкий спектр областей. Його застосування охоплює не лише інженерію, а й науку, де він використовується для досліджень різноманітних фізичних явищ.

Його перевагами є наступні:

- Основний інтерфейс Comsol Multiphysics дуже простий і містить лише найважливіші функції;
- Імпорт і експорт геометрій дуже простий і дозволяє комбінувати кілька сконструйованих частин.
- Широкий вибір 3D функцій. Comsol пропонує широкий набір тривимірних функцій і унікальних елементів для спрощення моделювання складних систем.
- Основна перевага Comsol Multiphysics полягає в тому, що ви можете створити модуль або програму, які дозволять вам запускати інші симуляції, щоб ви могли отримати більше часу та продуктивності, без необхідності повторно запускати симуляцію знову.
- Comsol можна легко інтегрувати з хмарними обчислювальними платформами, такими як Amazon Cloud або Microsoft Cloud.
- Нарешті, найбільш затребуваною особливістю Comsol Multiphysics є його база інструментів, включаючи Comsol з інструментом MATLAB, інструменти імпорту та експорту об'єктів, генератор 3D-анімації та багато іншого. Ці інструменти дозволяють без зусиль візуалізувати, контролювати та оцінювати отримані результати.

Недоліки:

- Відсутність детальних підручників. Спробуйте знайти детальну інформацію про Comsol на YouTube або навіть на їхньому офіційному веб-сайті, ви не знайдете нічого глибокого та інформативного. Цей недолік є одним із найбільших його обмежень.

- Необхідність високих характеристик. Comsol Multiphysics потребує високих специфікацій і потужних пристроїв для моделювання [9].

2.3 Програмний комплекс ANSYS Maxwell

ANSYS Maxwell – це програмний пакет для моделювання електромагнітних полів і систем намагнічування (рисунок 2.4) [10].

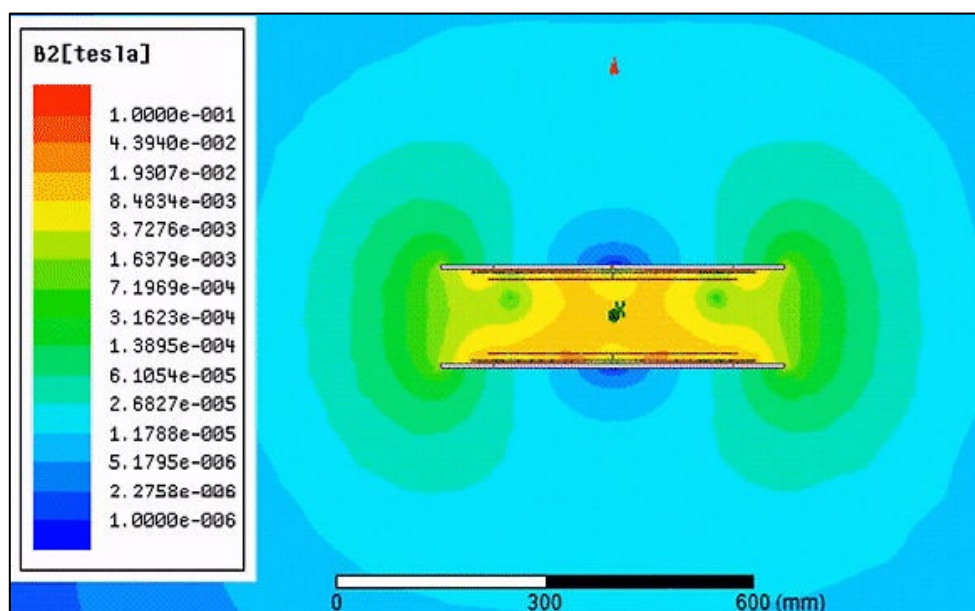


Рисунок 2.4 – ANSYS Maxwell

Він надає розширені можливості для аналізу магнітних полів і взаємодії з матеріалами. Переваги:

- Розширені можливості моделювання: ANSYS Maxwell надає розширені можливості для моделювання електромагнітних полів та магнітних систем. Він дозволяє досліджувати широкий спектр задач, включаючи магнітний дизайн, електромагнітний суміщений дизайн, та інше.

- Обробка неоднорідних та анізотропних матеріалів: ANSYS Maxwell дозволяє моделювати матеріали з різними магнітними та електричними властивостями, включаючи неоднорідні та анізотропні матеріали.
- Інтеграція з іншими продуктами ANSYS: ANSYS Maxwell легко інтегрується з іншими продуктами ANSYS, що дозволяє проводити комплексний аналіз взаємодії електромагнітних полів з механічними, тепловими та іншими фізичними процесами.
- Велика спільнота користувачів і підтримка: ANSYS має велику спільноту користувачів і надає якісну технічну підтримку для свого програмного забезпечення.

Недоліки:

- Високі витрати: ANSYS Maxwell це комерційний продукт, і витрати на ліцензії та підтримку можуть бути значними, особливо для малих компаній та дослідницьких груп.
- Великий обсяг функцій: Інтерфейс ANSYS Maxwell може бути важким для навчання, оскільки програма має великий обсяг функцій і налаштувань. Навчання та розгортання можуть вимагати певного часу.
- Вимоги до апаратного забезпечення: Для оптимальної роботи ANSYS Maxwell може бути необхідним потужне обладнання, що також може збільшувати витрати.
- Обмежена версія для академічного використання: Для академічних цілей існує обмежена версія ANSYS Maxwell, і вона може мати деякі обмеження порівняно з комерційною версією.

2.4 Бібліотека Magpylib

Magpylib – це пакет Python з відкритим вихідним кодом для розрахунку статичних магнітних полів магнітів, струмів та інших джерел. Він використовує

явні вирази, розв'язки макроскопічних магнітостатичних задач, реалізовані у векторизованій формі, що робить обчислення надзвичайно швидкими. (рисунок 2.5) [11].

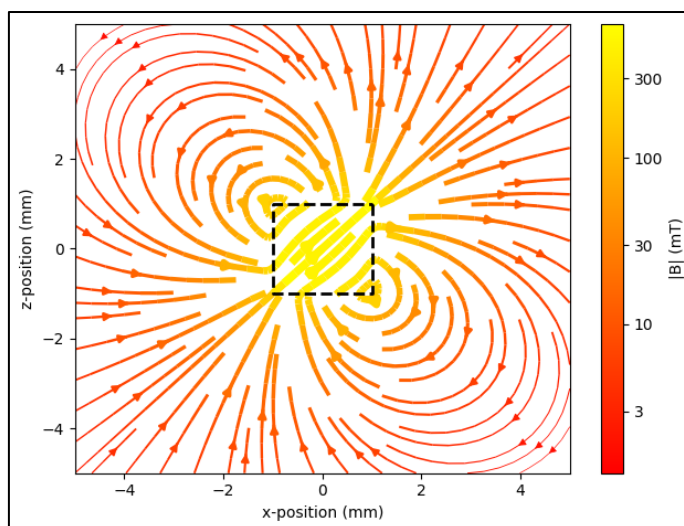


Рисунок 2.5 – Приклад роботи бібліотеки Magpylib

Переваги:

- Бібліотека Magpylib розроблена спеціально для моделювання магнітного поля, що робить її спеціалізованим інструментом для користувачів, які працюють над проектами або дослідженнями, пов'язаними з магнетизмом.
- Magpylib реалізована на Python, яка є широко використовуваною та популярною мовою програмування. Це може зробити її доступною для широкої аудиторії, включаючи дослідників, науковців та інженерів, які знайомі з Python.
- Magpylib є бібліотекою з відкритим кодом, тобто її вихідний код є у вільному доступі. Це дозволяє користувачам перевіряти, змінювати та робити внесок у кодову базу, сприяючи співпраці та покращенням, керованим спільнотою.

- Гнучка та розширювана: бібліотека розроблена, щоб бути гнучкою та розширюваною. Користувачі можуть легко визначати та налаштовувати магнітні структури, що дозволяє використовувати широкий спектр застосувань і симуляцій.

Недоліки:

- Користувачам може знадобитися багато часу на вивчення API та функціональності бібліотеки.
- Розмір спільноти та рівень підтримки Magpylib можуть бути меншими порівняно з більш відомими бібліотеками та програмами. Менша спільнота може означати менше ресурсів, навчальних посібників і рішень, керованих спільнотою.
- Magpylib має набагато менше функцій ніж комерційне програмне забезпечення для моделювання магнітного поля. Користувачі, які шукають комплексне рішення з широким набором функцій, можуть виявити, що Magpylib бракує певних аспектів.

В роботі пропонується розробити власний продукт у сфері моделювання електромагнітних полів. Потенційний продукт має на меті вирішити певні недоліки і задовольнити вимоги, які можуть виникнути при використанні існуючих програмних засобів, таких як COMSOL Multiphysics, ANSYS Maxwell та бібліотека Magpylib. Пропозиції щодо нового продукту включають:

- Простота та доступність: розробка інтуїтивного інтерфейсу для забезпечення легкого використання продукту без значної підготовки користувача.
- Ефективне використання ресурсів: забезпечення оптимального використання апаратних ресурсів для зменшення вимог до обладнання.
- Надання документації: надання інформації про використані математичні моделі.

- Відкритий вихідний код: створення продукту із відкритим вихідним кодом для стимулювання співпраці та розвитку від спільноти користувачів.
- Низькі витрати: пропозиція конкурентоспроможної цінової політики для зменшення витрат на ліцензії та підтримку.

В результаті розробки цього продукту очікується полегшення процесу моделювання електромагнітних полів та магнітних систем, зменшення труднощів у вивченні та використанні програмного забезпечення, а також створення конкурентоспроможного та ефективного інструменту для наукових досліджень, розробок та навчання.

Висновки до розділу 2

Розділ, присвячений огляду існуючих програмних рішень для моделювання параметрів системи намагнічування магнітотвердих матеріалів, розкриваючи значущі аспекти кількох відомих програмних комплексів та бібліотек.

Також у цьому розділі було розглянуто основні поняття, пов'язані з магнітними полями, такі як магнітне поле, напруженість магнітного поля та магнітні матеріали. Також було зазначено призначення постійних магнітів і їхню важливість у різних технологічних застосуваннях.

COMSOL Multiphysics представляє собою потужний та універсальний інструмент для комп'ютерних симуляцій, використовується в різних галузях техніки, виробництва та наукових досліджень. Його простий інтерфейс, розширені можливості інтеграції з хмарними обчислювальними платформами роблять його зручним і ефективним інструментом. Однак, слід враховувати й недоліки, такі як відсутність детальних підручників та високі вимоги до апаратного забезпечення.

Натомість ANSYS Maxwell відзначається розширеними можливостями моделювання електромагнітних полів та систем намагнічування. Його інтеграція з іншими продуктами ANSYS робить його відмінним вибором для комплексного аналізу взаємодії електромагнітних полів з іншими фізичними процесами. Проте, високі витрати, складний інтерфейс та обмежена версія для академічного використання можуть мати вирішальний вплив.

Бібліотека Magpylib, як пакет Python з відкритим вихідним кодом, пропонує швидкі та ефективні обчислення магнітних полів. Вона визначається високою швидкістю та векторизованою реалізацією магнітостатичних задач. Це робить її привабливою для тих, хто використовує мову програмування Python та шукає відкритий інструмент для розрахунків.

У загальному, вибір програмного забезпечення повинен бути зроблений з урахуванням конкретних завдань, технічних вимог та доступності ресурсів. Кожен із розглянутих інструментів має свої переваги та недоліки, і вибір залежить від конкретних потреб користувача.

Магнітні поля виявляються важливими об'єктами дослідження в різних галузях науки та технології. Розрахунок та моделювання магнітних полів є важливою складовою для аналізу та проектування пристроїв і систем, які мають взаємодію з цими полями.

Загальною метою цього дослідження є вдосконалення розуміння та можливостей управління магнітними полями в різних контекстах. Отримані результати та розглянуті концепції можуть бути використані для оптимізації дизайну пристроїв, систем та матеріалів, що взаємодіють з магнітними полями. Враховуючи поширеність використання магнітних полів у різних галузях, отримані знання можуть знайти практичні застосування в розвитку нових технологій та удосконаленні існуючих систем.

3 ЗАСОБИ РОЗРОБКИ ЗАСТОСУНКУ

Огляд наявних рішень дозволив краще зрозуміти предметну область та обрати найкращі програмні засоби, що є важливим етапом у розробці будь-якого програмного продукту. Правильний вибір засобів розробки не тільки полегшує процедуру взаємодії користувача з системою, а й робить розробку програмного забезпечення більш ефективною та швидкою.

3.1 Вибір мови програмування

У якості мови програмування було обрано Python [12]. Python широко використовується в науковому світі як альтернатива Matlab через його простоту, лаконічність, великі бібліотеки та безкоштовний доступ.

Знання Python стало таким же важливим, як знання LaTeX. Приватні підприємства також можуть отримати користь від Python, передаючи код дослідників розробникам для оптимізації, «індустріалізації» коду та подальшої інтеграції у великі системи. Всупереч поширеній думці про те, що Python непридатний для виробничих систем і має бути перенесений на C/C++, Python можна використовувати крім прототипів і демонстраційних версій і виконувати складні математичні обчислення «у виробництві». Це дозволяє компаніям мінімізувати код, наймати економічно ефективних розробників і вирішувати бізнес-проблеми свого продукту, не залежачи від жодного зіркового виконавця в команді [13].

Наведемо ще декілька переваг Python:

- Легко читається. Код Python використовує англійські ключові слова, а не розділові знаки, а його розриви рядків допомагають визначити блоки

коду. На практиці це означає, що ви можете визначити, для чого призначений код, просто подивившись на нього.

- Відкритий вихідний код. Ви можете завантажити вихідний код, змінити його та використовувати як завгодно.
- Портативність. Деякі мови вимагають модифікації коду для запуску на різних платформах, але Python є кросплатформною мовою, що означає, що ви можете запускати той самий код у будь-якій операційній системі з інтерпретатором Python.
- Підлягає розширенню. Код Python може бути написаний іншими мовами (наприклад, C++), і користувачі можуть додавати низькорівневі модулі до інтерпретатора Python, щоб налаштувати та оптимізувати свої інструменти.
- Широка стандартна бібліотека. Ця бібліотека доступна для будь-кого, а це означає, що користувачам не потрібно писати код для кожної окремої функції – вони можуть отримати доступ до вбудованих модулів, які допомагають вирішувати проблеми в повсякденному програмуванні тощо.

Python є найпопулярнішою мовою для науки про дані та досліджень. Оскільки його синтаксис легко зрозумілий і адаптований, люди з невеликим досвідом розробки можуть легко вивчити Python і використовувати його для маніпулювання даними для досліджень, звітності, регресійного аналізу тощо.

Збір та аналіз даних може бути трудомістким завданням для фахівців з обробки даних. Python також є однією з найкращих мов для навчання моделей машинного навчання.

За допомогою спеціальних алгоритмів ці моделі можуть аналізувати та виявляти закономірності в даних, щоб робити прогнози або рішення на основі цих даних. Вони також постійно розвиваються на основі результатів попередніх наборів даних, щоб протистояти новим змінним.

Фахівці з обробки даних і розробники, які навчають моделі машинного навчання, часто використовують бібліотеки, такі як NumPy, Pandas і Matplotlib, для автоматизації таких функцій, як очищення, перетворення даних і візуалізація [14].

3.2 Вибір бібліотек та програмних додатків

При розробці інтерфейсу програми постало питання вибору бібліотеки чи фреймворку для створення інтерфейсу користувача. Вибір був між бібліотекою Tkinter [15] та фреймворком PyQt [16]. Наведемо переваги та недоліки кожного з них. Переваги використання PyQt:

- Гнучкість кодування – Програмування графічного інтерфейсу за допомогою PyQt розроблено навколо концепції сигналів та слотів для встановлення зв'язку між об'єктами. Це забезпечує гнучкість при роботі з подіями графічного інтерфейсу і призводить до більш плавної кодової бази.
- Більше, ніж просто фреймворк – PyQt використовує широкий спектр програмних інтерфейсів власної платформи для роботи з мережею, створення баз даних та багатьох інших програм.
- Різноманітні компоненти інтерфейсу користувача – у PyQt передбачено декілька віджетів, зокрема кнопок або меню, які мають базовий вигляд на всіх підтримуваних платформах.
- Різноманітні навчальні ресурси – оскільки PyQt є одним із найбільш використовуваних фреймворків інтерфейсу користувача для Python, ви можете отримати легкий доступ до широкого спектру документації.

Недоліки використання PyQt:

- Відсутність специфічної документації на Python для класів у PyQt5.
- Розуміння всіх деталей PyQt вимагає багато часу.

- Має застарілий вигляд.

Переваги використання Tkinter:

- Доступний поза тарифом для комерційного використання.
- Він представлений у базовій бібліотеці Python.
- Створення виконуваних файлів для програм Tkinter є більш доступним, оскільки Tkinter включено до Python, і, як наслідок, він не має інших залежностей.
- Простий для розуміння та освоєння, оскільки Tkinter є обмеженою бібліотекою з простим API, який є основним вибором для створення швидких графічних інтерфейсів для сценаріїв Python.

Недоліки використання Tkinter:

- У Tkinter немає великої бази віджетів.
- Має застарілий вигляд.
- Він не має подібного інструменту, як Qt Designer [17].

Враховуючи все вищезгадане для розробки інтерфейсу програми було обрано бібліотеку Tkinter. PyQt дуже навантажена система, має застарілий вигляд (рисунок 3.1).

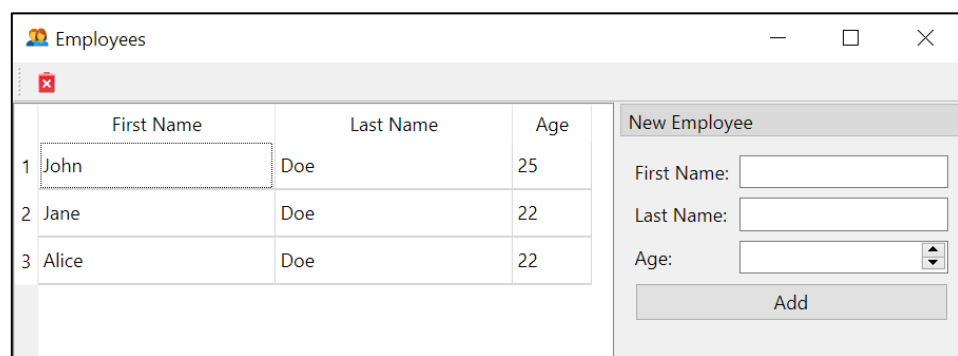


Рисунок 3.1 – Вигляд інтерфейсу програми з використанням PyQt

Хоча Tkinter теж має застарілий вигляд, його можна легко налаштувати використовуючи доповнення, а в PyQt потрібно дуже детально, вручну

налаштовувати кожен елемент. Python має багато фреймворків графічного інтерфейсу, але Tkinter є єдиним фреймворком, вбудованим у стандартну бібліотеку Python. Tkinter має кілька сильних сторін. Одна з них це кросплатформний код, тому той самий код працює в Windows, macOS і Linux. Візуальні елементи відображаються за допомогою власних елементів операційної системи, тому програми, створені за допомогою Tkinter, виглядають так, ніби належать платформі, на якій вони запускаються.

Як вже було сказано раніше, одним із помітних зауважень є те, що GUI, створені за допомогою Tkinter, виглядають застарілими [18]. В цьому можна переконатися, якщо поглянути на рисунок 3.2.

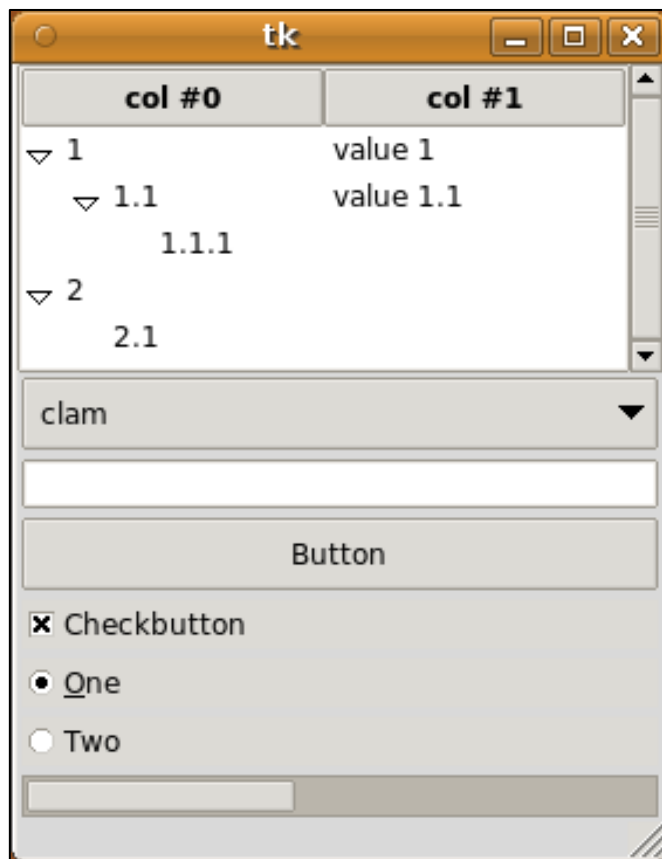


Рисунок 3.2 – Вигляд інтерфейсу програми з використанням Tkinter

Але цей недолік можна нівелювати використовуючи доповнення CustomTkinter. CustomTkinter – це бібліотека інтерфейсу користувача Python на

основі Tkinter, яка надає нові, сучасні та повністю настроювані віджети. Вони створюються та використовуються як звичайні віджети Tkinter, а також можуть використовуватися в поєднанні зі звичайними елементами Tkinter. Кольори віджетів і вікон адаптуються до зовнішнього вигляду системи або встановленого вручну режиму («світлий», «темний»), і всі віджети та вікна CustomTkinter підтримують масштабування HighDPI (Windows, macOS).

З CustomTkinter ви отримаєте послідовний і сучасний (рисунок 3.3) вигляд на всіх платформах настільних ПК (Windows, macOS, Linux) [19].

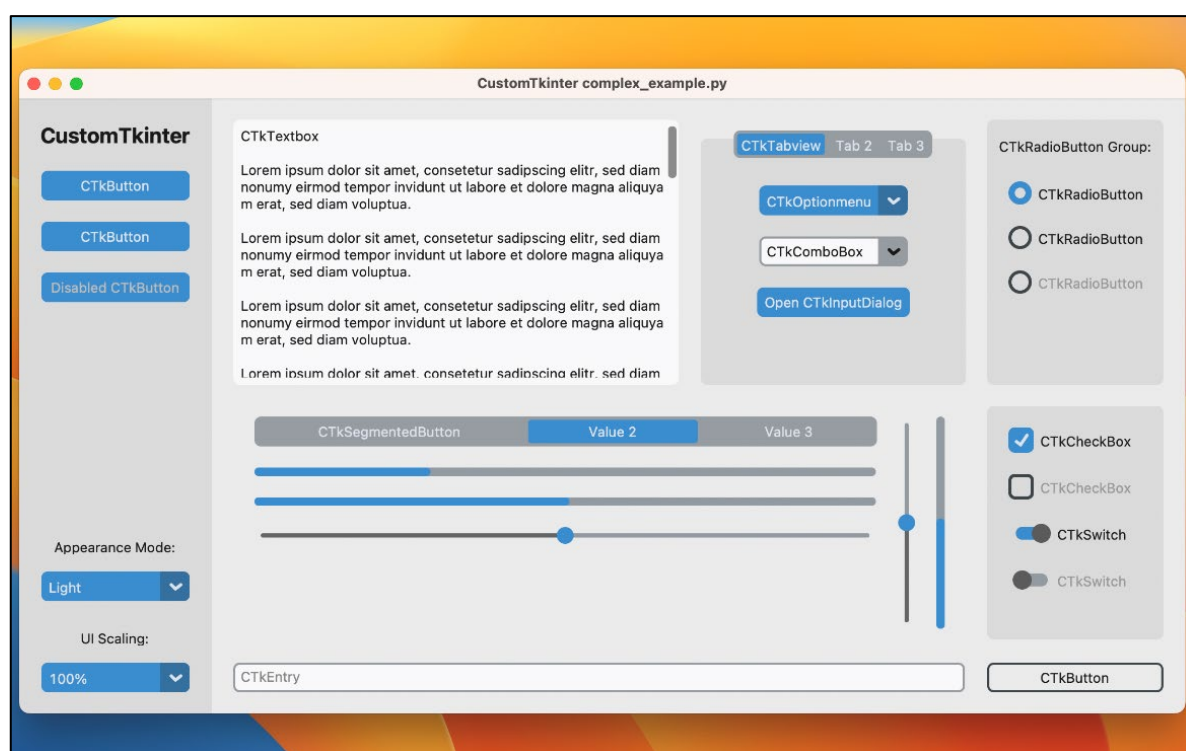


Рисунок 3.3 – Вигляд інтерфейсу програми з використанням CustomTkinter

Ще однією перевагою CustomTkinter є те, що він має чималу базу доповнень, які можна безкоштовно використовувати.

Наприклад, можна додати доповнення, яке надасть змогу програмі змінювати тему оформлення в залежності від теми операційної системи.

Для візуального відображення результатів моделювання було використано бібліотеку Matplotlib [20]. Matplotlib – це бібліотека візуалізації з відкритим кодом на Python, створена на основі NumPy і призначена для роботи зі стеком SciPy [21].

Переваги NumPy:

- Потужні n -вимірні масиви. Швидкі та універсальні, концепції векторизації, індексування та трансляції NumPy є де-факто стандартами масивних обчислень сьогодні.
- Засоби чисельних обчислень. NumPy пропонує комплексні математичні функції, генератори випадкових чисел, підпрограми лінійної алгебри, перетворення Фур'є тощо.
- Відкрите програмне забезпечення. Розповсюджується за ліцензією BSD, NumPy розробляється та підтримується публічно на GitHub.
- Сумісність. NumPy підтримує широкий спектр апаратних та обчислювальних платформ і добре працює з розподіленими, графічними та розрідженими бібліотеками масивів.
- Ефективний. Ядром NumPy є добре оптимізований код на C.
- Простота у використанні. Високорівневий синтаксис NumPy робить його доступним і продуктивним для програмістів будь-якого рівня досвіду [22].

Простіше кажучи, Matplotlib – це потужний інструмент візуалізації даних, який дозволяє переглядати великі обсяги даних у зрозумілій формі.

Інструмент 2D-графіки та візуалізації широко відомий своєю простотою, оскільки для роботи не потрібні складні протоколи. У результаті розробники розглядають його як заміну MATLAB, більш складного інструменту візуалізації [23].

Приклад роботи з потоковими діаграмами (Streamplot), які знадобляться для виконання цієї роботи, можна переглянути на рисунку 3.4.

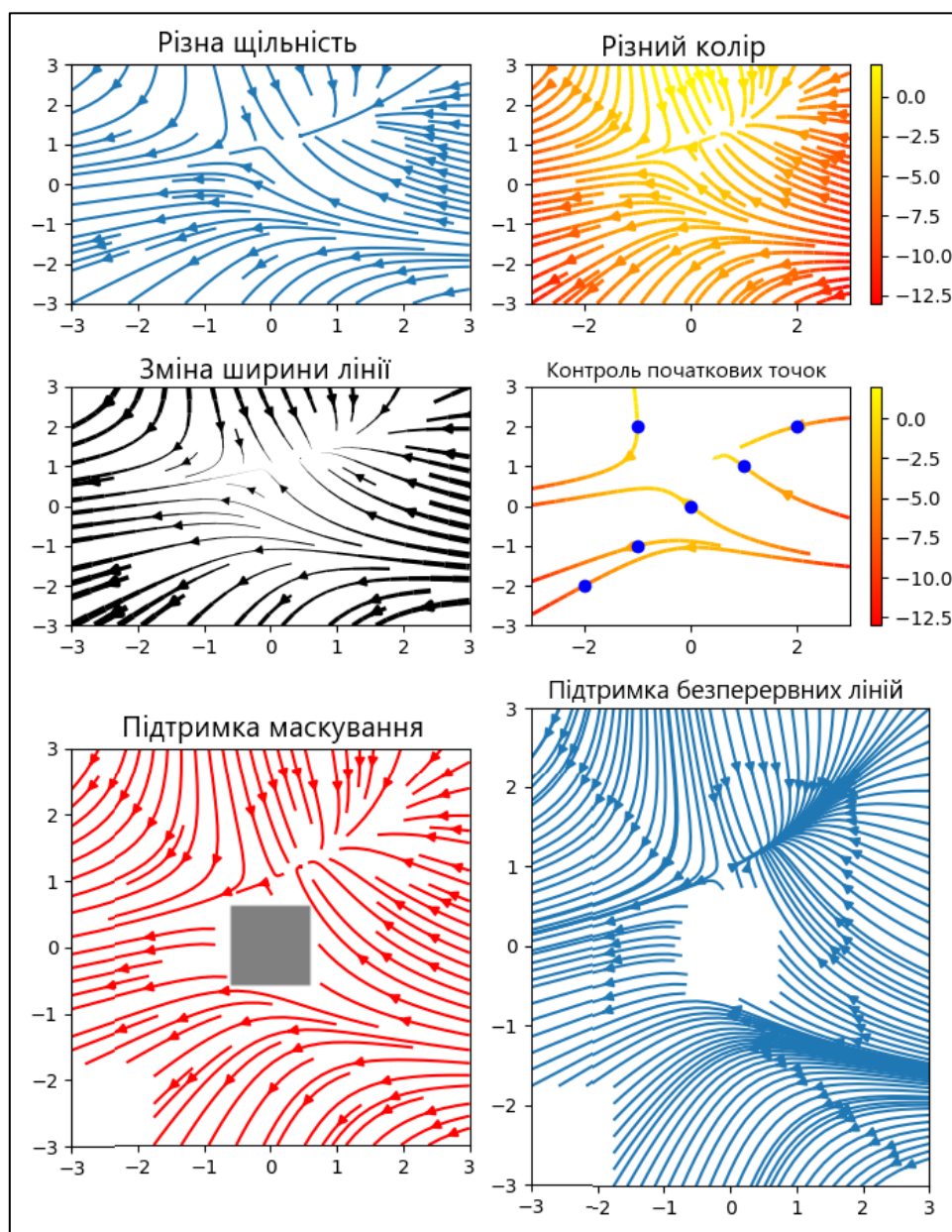


Рисунок 3.4 – Приклад роботи бібліотеки Matplotlib

Як бачимо, бібліотека Matplotlib надає широкий спектр налаштувань для роботи з потоковими діаграмами.

Додатковою бібліотекою для відображення доданих до системи магнітів у тривимірному просторі було обрано PyVista [24].

PyVista – це збірка вільного ліцензованого програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом, призначена для 3D-візуалізації та аналізу сіток у Python. Приклад роботи бібліотеки PyVista показано на рисунку 3.5.

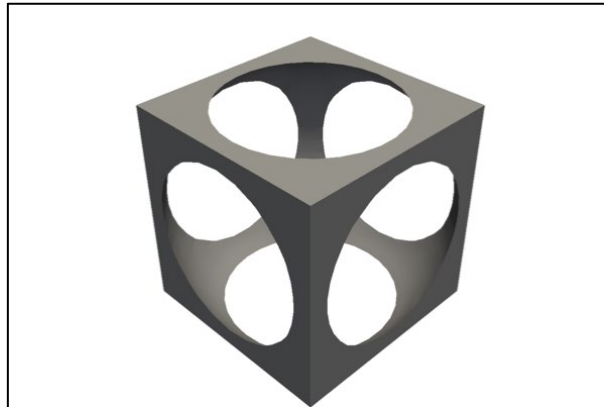


Рисунок 3.5 – Приклад роботи бібліотеки PyVista

У якості програмного середовища для розробки програми було обрано PyCharm [25]. PyCharm — одна з найпопулярніших IDE Python. На це є багато причин, у тому числі той факт, що його розроблено JetBrains, розробником популярної IntelliJ IDEA IDE, яка є однією з трьох великих Java IDE і «найрозумнішою JavaScript IDE» WebStorm. Основними перевагами PyCharm є наступні:

- PyCharm поставляється з розумним редактором коду, який полегшує написання високоякісного коду Python. Він пропонує покращений рівень розуміння та читабельності коду за допомогою різних кольорових схем для ключових слів, класів і функцій, тобто підсвічування синтаксису та помилок.
- PyCharm має інтегрований налагоджувач Python і інтегроване модульне тестування з охопленням коду рядок за рядком.
- Функція навігації кодом значно полегшує розробникам перехід до класу, функції або файлу. Це також допомагає значно скоротити зусилля та час, необхідні для редагування та вдосконалення коду Python.
- Функція рефакторингу в PyCharm допомагає покращити внутрішню структуру програми Python, не впливаючи на її зовнішню

продуктивність. Внесення змін до локальних і глобальних змінних є ефективним і швидким [26].

Також були використані наступні допоміжні бібліотеки:

- `gettext` – для реалізації локалізації в програмі;
- `json` – для реалізації імпорту/експорту даних про магніти;
- `csv` – для реалізації імпорту та експорту даних у форматі CSV (comma-separated values “значення, розділені комою”).
- `PIL` – призначена для роботи з растровою графікою;
- `scipy` – бібліотека високоякісних наукових інструментів для мови програмування Python.
- `STkColorPicker` – доповнення до `CustomTkinter` для зручного вибору кольору.
- `STkMessageBox` – доповнення до `CustomTkinter` для зручного виведення повідомлень.
- `STkTable` – доповнення до `CustomTkinter` для зручного виведення таблиць.
- `STkListbox` – доповнення до `CustomTkinter` для створення списків.
- `STkToolTip` – доповнення до `CustomTkinter` для створення спливаючих підказок.

Використання цих засобів розробки спростило процес створення програми та зробило її більш ефективною та зручною.

Висновки до розділу 3

У цьому розділі було розглянуто вибір мови програмування та інструментів розробки для даної дипломної роботи, з цього можна зробити кілька важливих висновків.

Python обраний як основна мова програмування з численних причин, що включають його простоту, лаконічність та великої кількості підтримуваних бібліотек. Зазначено, що Python відіграє ключову роль в науковому середовищі і є ефективним інструментом для вирішення різноманітних завдань, від прототипування до виробничих систем.

Вибір Tkinter для розробки інтерфейсу програми обґрунтований, тим, що він вбудований в Python. Додатково, вказано на можливість використання CustomTkinter для нейтралізації застарілого вигляду та надання сучасного дизайну.

Використання Matplotlib в якості інструменту для візуалізації даних підкреслює його потужність та простоту використання. Зазначено, що ця бібліотека становить ефективну альтернативу складнішим інструментам, таким як MATLAB, і полегшує відображення даних у зрозумілій формі.

Обране програмне середовище для розробки PyCharm визначається як одна з найпопулярніших IDE для Python з численними перевагами, такими як розумний редактор коду, інтегрований налагоджувач та інструменти рефакторингу. Вказано, що це середовище значно полегшує процес розробки та оптимізує якість коду. Зазначено використання ряду допоміжних бібліотек, які в сукупності допомагають спростити процес розробки та забезпечити необхідну функціональність. В результаті, обрані мова програмування та інструменти розробки не лише відповідають поставленим завданням, а й сприяють ефективній розробці програмного продукту. Використання Python разом із вибраними бібліотеками та середовищем розробки створює потужний та зручний інструментарій для досягнення мети дипломної роботи.

4 ОПИС ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОДАТКУ

Розроблений додаток надає змогу користувачеві зручно, швидко та зрозуміло здійснювати моделювання параметрів системи намагнічування магнітотвердих матеріалів.

4.1 Використані математичні моделі

У даній роботі використовується математична модель представлена у роботі [27]. Вона описується складними рівняннями:

$$H(Q)_{x,i} = f(M, \mu_0, a, x, z, \ln) \quad (1)$$

де $H(Q)_{x,i}$ – i -та складова H_x напруженості плоскопаралельного магнітного поля, $i = 1 \dots n$, M – магнітна індукція, μ_0 – магнітна стала, a – довжина магніту

$$H(Q)_{z,i} = f(M, \mu_0, a, x, z, \arctg) \quad (2)$$

де $H(Q)_{z,i}$ – i -та складова H_z напруженості плоскопаралельного магнітного поля, $i = 1 \dots n$

Рівняння (1, 2) представляють математичну модель для розрахунку компонентів магнітного поля.

4.2 Загальна структура додатку

У результаті роботи було розроблено додаток на мові програмування Python. Для створення графічного інтерфейсу використовувалася бібліотека Tkinter з наступними доповненнями:

- CustomTkinter – основне доповнення для зміни загального вигляду додатку.
- STkColorPicker – використовувалося для створення вікна вибору кольору для сітки головного вікна виведення графічного результату моделювання.
- STkMessageBox – використовувалося для створення вікон, аби мати можливість виводити повідомлень чи інформацію про помилки.
- STkTable – використовувалося для створення таблиць для виведення чисельних результатів моделювання при взаємодії з головним вікном виведення графічного результату моделювання.
- STkListbox – використовувалося для створення зручних розкривних списків.
- STkToolTip – використовувалося для створення зручних спливаючих підказок.

На рисунку 4.1 наведено схему взаємодії модулів системи.

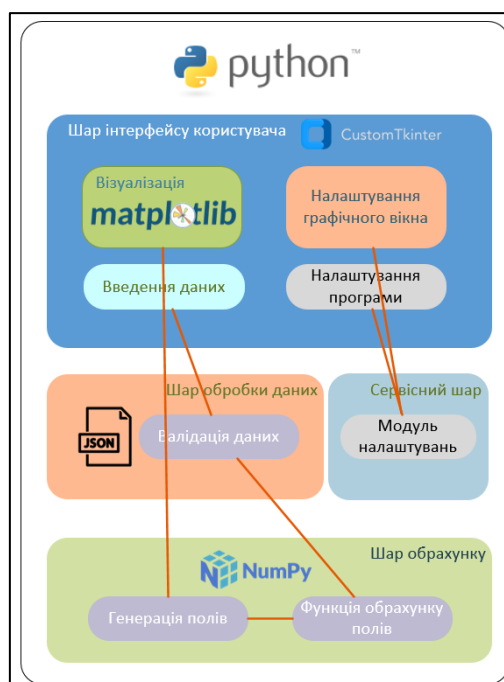


Рисунок 4.1 – Схема взаємодії модулів системи

На схемі наочно продемонстровано, як взаємодіють між собою основні компоненти програми.

Після введення даних в шарі інтерфейсу користувача з використанням модуля “Введення даних”, вони валідуються в шарі обробки даних з використанням модуля “Валідація даних”, тільки після цього вони можуть бути використані для обрахунку полів з використанням модуля “Функція обрахунку полів” за допомогою бібліотеки NumPy та генерації полів з використанням модуля “Генерація полів” у шарі обрахунку.

Після чого дані будуть передані назад до шару інтерфейсу користувача, де будуть відображені, за допомогою бібліотеки matplotlib у модулі “Візуалізація”.

Також в шарі інтерфейсу користувача присутні модулі “Налаштування графічного вікна” та “Налаштування програми”, які взаємодіють з модулем “Налаштувань” зі сервісного шару.

Таким чином надана схема демонструє основні аспекти взаємодії між собою основних компонентів програми.

4.3 Опис методів програмної системи

Для додавання можливості використання декількох мов у додатку було використано gettext.

Цей модуль забезпечує локалізацію для модулів і додатків Python.

В ньому присутні наступні параметри:

- domain – задає назву файлу з локалізацією;
- localedir – задає шлях до директорії з файлами локалізації;
- languages – задає поточні локалізації;

Також при створенні додатку постала проблема виводу великих масивів даних чисельних результатів моделювання. При виведенні результатів після

взаємодії з головним полем виводу графічних результатів моделювання використовувалася бібліотека STkTable.

Втім ця бібліотека не підходить для створення таблиць до яких будуть виводитися великі масиви даних. Тому було вирішено використовувати вбудований віджет Treeview.

Treeview застосовується, коли необхідно відобразити дані у вигляді дерева чи у вигляді таблиці. Цей віджет дуже добре справляється з великими масивами даних та швидко їх виводить. Серед параметрів Treeview слід зазначити наступні:

- `columns`: стовпці таблиці відображаються у вигляді рядка або списку/кортежу рядків;
- `displaycolumns`: стовпці таблиці, що відображаються;
- `cursor`: курсор при наведенні на віджет;
- `height`: висота віджету;
- `selectmode`: режим вибору елементів у віджеті;
- `show`: формат відображення даних. Може приймати одне з таких значень:
 - `tree`: відображає нульовий стовпець;
 - `heading`: відображає рядок із заголовками;
 - `tree headings`: відображає нульовий стовпець та рядок із заголовками;
 - `""`: не відображає ні нульовий стовпець, ні рядок із заголовками.

Наведемо кроки, які виконується програмою при виконанні функції моделювання:

- Система перевіряє чи додані до системи магніти. Якщо у системі не виявлено інформацію про магніти, то виводиться повідомлення про необхідність додати декілька магнітів.
- На час моделювання кнопка вимикається, аби унеможливити дуже часте її натискання.

- Перевіряється в якому режимі перегляду графічного результату моделювання зараз знаходиться користувач і в залежності від цього виконує певні функції.
- Очищає область виводу графічних результатів.
- Відрисовує магніти, для більшої наочності.
- Відрисовує магнітні лінії.
- Задає вибрані користувачем налаштування сітки.
- Кнопка моделювання знову розблоковується.

Процес очищення області виводу графічних результатів проходить наступним чином:

- Відключення обробника подій, який раніше був призначений для графіка.
- Оновлення значень таблиці результатів зі стандартними значеннями.
- Очищення графіку, що включає очищення основного графіку, очищення колірної шкали та повторне створення колірної шкали з новими параметрами.
- Встановлення підписів для осей X та Y.
- Встановлення меж графіку.
- Увімкнення або вимкнення сітки в залежності від стану перемикача.
- Зміна теми графіку.
- Очищення історії масштабу.
- Скидання глобальних змінних.

Процес побудови самих магнітів проходить наступним чином:

- Програма проходить по списку магнітів.
- Дістає інформацію про магніт.
- На основі отриманої інформації програма обраховує грані магнітів, для кожного магніту таких граней буде два набори, один для відрисовки першої половини магніту, котра буде зафарбована у червоний колір, а

інша для відрисовки другої половини магніту, котра буде зафарбована у синій колір.

- Обраховує центри кожної половини магніту.
- Відрисовує магніти на основі отриманих граней, а на місці отриманих центрів відрисовує позначки (N або S).

Відрисовка магнітних полів проходить наступним чином:

- Програма зчитує налаштування задані користувачем, а саме ширину і висоту області відрисовки.
- На основі отриманих даних відрисовує сітку.
- Починає проходитись по списку магнітів. З кожного магніту зчитує інформацію про нього та в залежності від намагніченості магніту обчислює параметри, які необхідні для обрахунку значень компонентів напруженості.
- Обраховує компоненти напруженості.
- На основі отриманих даних програма будує магнітні лінії.
- Обраховує дані для побудови колірної мапи.
- Будує колірну мапу.
- Будує шкалу колірної мапи на основі самої мапи та налаштувань користувача.
- Задає позначення для шкали.
- Встановлює шкалу зліва від області виведення графічних результатів моделювання.
- Запускає функцію очікування натискання на область виведення графічних результатів моделювання. При отриманні сигналу про натискання, вираховує координати точки та виводить чисельну інформацію за цими координатами.

Для валідації введених даних в програмі використовувалися регулярні вирази.

Також розглянемо реалізацію методу збереження чисельних результатів. Наведемо покрокову реалізацію:

- Програма задає глобальні змінні.
- Перевіряє чи є дані для збереження, якщо таких даних немає, то виводить відповідне повідомлення.
- Якщо ж дані є, запускає функцію збереження в окремому потоці, аби не перевантажувати програму.
- Програма вираховує кількість ітерацій для збереження.
- Задає крок прогресу для відображення процесу збереження.
- Запускає анімацію збереження.
- Відкриття файлу для запису з заданим ім'ям.
- Створення об'єкта для запису CSV.
- Запис заголовків у файл: "X", "Z", "Nx", "Nz", "N".
- Проходження по значеннях X та Z.
- Якщо був запит на зупинення процесу збереження, то зупинити анімацію збереження, вивести відповідне повідомлення та вийти з функції збереження.
- Інтерполяція значень Nx та Nz за допомогою griddata.
- Обчислення загального магнітного поля H_{total} .
- Запис даних у файл, якщо H_{total} не є NaN.
- Оновлення значення прогрес-бару та перевірка зупинки операції.
- Зупинка прогрес-бару та виведення повідомлення про успішне завершення процесу збереження.

Розглянемо реалізацію методу додавання магнітів. Наведемо покрокову реалізацію:

- Перевірка, чи кількість магнітів у списку не перевищує визначене обмеження, що задається в налаштуваннях.
- Отримання даних про магніт з введених користувачем значень позиції, розміру та намагніченості.

- Створення словника з отриманих даних.
- Додавання створеного словника до списку магнітів.
- Оновлення відображення списку магнітів на інтерфейсі.
- Виведення повідомлення про досягнення обмеження, якщо таке відбулось.

Ось покрокова реалізація методу збереження списку магнітів:

- Перевірка наявності даних: перевірка, чи існують дані для збереження.
- Визначення типів файлів для діалогового вікна збереження: визначення типів файлів, які можна вибрати для збереження. У цьому випадку, це файл типу JSON.
- Діалогове вікно збереження: виклик діалогового вікна збереження файлу з налаштуваннями, такими як заголовок, типи файлів, початковий каталог, розширення файлу за замовчуванням та ім'я файлу за замовчуванням.
- Збереження даних в файл JSON: якщо користувач обрав місце для збереження, відбувається збереження файлу у форматі JSON.
- Відображення повідомлення про відсутність даних: якщо дані відсутні, то виводиться повідомлення про відсутність даних та закінчується виконання функції.

І наостанок наведемо покрокову реалізацію власного розробленого методу масштабування графіку:

- Перевірка наявності повноекранного режиму: перевірка, чи використовується повноекранний режим. Якщо так, то фокус встановлюється на повноекранне вікно.
- Вимкнення кнопки масштабування та визначення точок для масштабування: вимкнення кнопки масштабування та отримання двох точок від користувача для визначення прямокутної області, яку користувач хоче масштабувати.

- Ввімкнення кнопки масштабування: після отримання точок для масштабування кнопка знову вмикається, а також відбувається зміна кольору кнопки.
- Збереження координат точок та здійснення масштабування: якщо були отримані точки для масштабування, то вони зберігаються у програмі. Потім визначається мінімальне та максимальне значення по обох осях. Якщо різниця між максимальним та мінімальним значенням більше 5, то ці значення використовуються для встановлення обмежень сітки по відповідних осях.
- Оновлення меж та вивід графіку: межі графіку оновлюються згідно із визначеними значеннями масштабування. Також викликається функція оновлення історії масштабування та оновлення виводу графіку.

Висновки до розділу 4

У цьому розділі було представлено інформацію про використану математична модель та про розробку програмного продукту. Додаток було реалізовано мовою програмування Python, використовуючи бібліотеку Tkinter для створення графічного інтерфейсу.

Математична модель, представлена у цьому розділі, надає засіб для розрахунку компонентів магнітного поля. Використовуючи складні рівняння, модель дозволяє враховувати різноманітні параметри та умови взаємодії з магнітним полем.

Описана загальна структура додатку включає в себе використання додаткових модулів, таких як CustomTkinter, STkColorPicker, STkMessageBox, STkTable, STkListbox та STkToolTip. З використанням цих модулів створено зручний та функціональний інтерфейс, що дозволяє користувачеві легко взаємодіяти з додатком.

На схемі взаємодії модулів системи чітко відображено структуру програми. Дані вводяться через інтерфейс користувача, після чого вони валідуються та обробляються відповідними модулями. Результати обрахунків та виведення графічного результату моделювання ефективно інтегровані в інтерфейс.

У розділі також описано використання модуля `gettext` для реалізації можливості локалізації додатку для декількох мов.

Проблема виводу великих масивів даних чисельних результатів моделювання була вирішена використанням вбудованого віджету `Treeview`, який ефективно впорався із завданням виведення великих обсягів інформації.

Отже, розділ надає огляд структури та реалізації програмного додатку, демонструючи важливі кроки в його розробці та визначаючи ключові елементи взаємодії компонентів системи.

5 РОБОТА КОРИСТУВАЧА З СИСТЕМОЮ

У цьому розділі буде показано роботу можливості програмного продукту, а також продемонстровано приклади роботи.

5.1 Інсталяція та системні вимоги

Розроблений додаток потребує наявності комп'ютера з операційною системою:

- Windows 10/11;
- macOS 12 і вище;
- Linux (Ubuntu 20.04) і вище.

Процесор: 1 гігагерц (ГГц) або швидший.

Оперативна пам'ять: 4 гігабайти (ГБ) або більше.

Місце на жорсткому диску: 2 гігабайти (ГБ) або більше.

Масштабування з високою роздільною здатністю доступне на Windows та macOS. Підтримка кольорової схеми системи доступна на Windows 10/11. Іншого додаткового програмного забезпечення для роботи додатку не потрібно.

5.2 Робота користувача з додатком

Система націлена на використання одним користувачем. Користувач має змогу додавати магніти, видаляти магніти, зберігати магніти у JSON форматі, моделювати систему, очищати графік, задавати параметри сітки, переглядати додані магніти у форматі 3D, зберігати графік, імпортувати та експортувати чисельні результати моделювання, змінювати налаштування додатку та

переглядати інформацію про систему. На рисунку 5.1 наведено діаграму прецедентів системи.

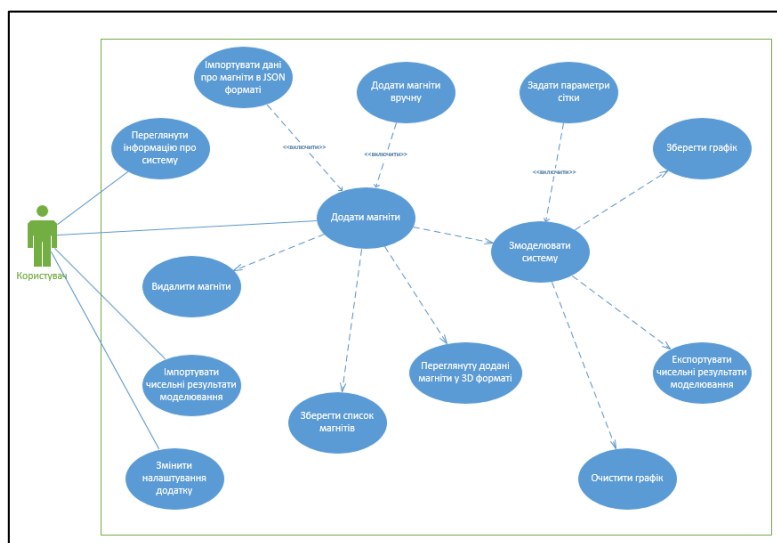


Рисунок 5.1 – Діаграма прецедентів системи

На ній визначено основні ролі для взаємодії із додатком. При відкритті додатку, можемо спостерігати головне вікно (рисунок 5.2).

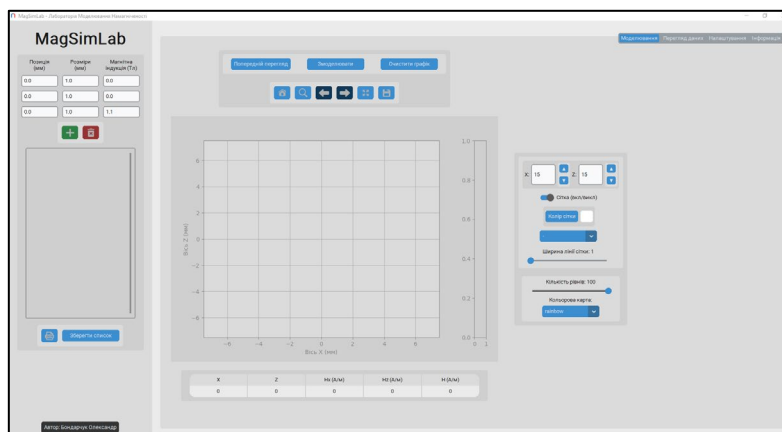


Рисунок 5.2 – Головне вікно програми MagSimLab

Програма розділена на 4 вкладки:

- Моделювання;

- Перегляд даних;
- Налаштування;
- Інформація.

Вкладка моделювання поділена на декілька панелей.

З правого боку розташована панель (рисунок 5.3) на якій можна додати дані про магніти, переглянути список з доданими для моделювання магнітами та переглянути інформацію про автора програми.

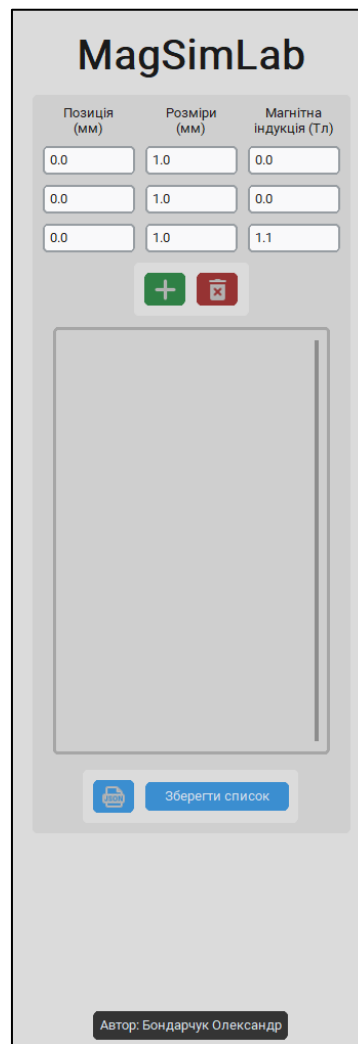


Рисунок 5.3 – Бічна панель вкладки моделювання

Користувач має змогу додати дані про магніти вручну за допомогою спеціально віконця (рисунок 5.4) потрібно записати позицію магніту у просторі

(x, y та z), його розміри (довжина, висота та ширина) та магнітну індукцію. Позиція та розміри магніту задаються в міліметрах (мм), а магнітна індукція в теслах (Тл). При введенні даних одразу відбувається перевірка аби унеможливити додавання невідповідних даних.

Позиція (мм)	Розміри (мм)	Магнітна індукція (Тл)
0.0	1.0	0.0
0.0	1.0	0.0
0.0	1.0	1.1



 

Рисунок 5.4 – Поля вводу даних про магніти

Також є можливість завантажити дані про магніти у JSON форматі за допомогою кнопки JSON (рисунок 5.5).



Рисунок 5.5 – Кнопка виклику функції додавання у форматі JSON

Після натискання на кнопку, відкриється спеціальне вікно (рисунок 5.6), за допомогою якого можна буде вибрати файл формату JSON з даними про магніти.

В програмі закодовано можливість завантажувати лише файли з розширенням .json.

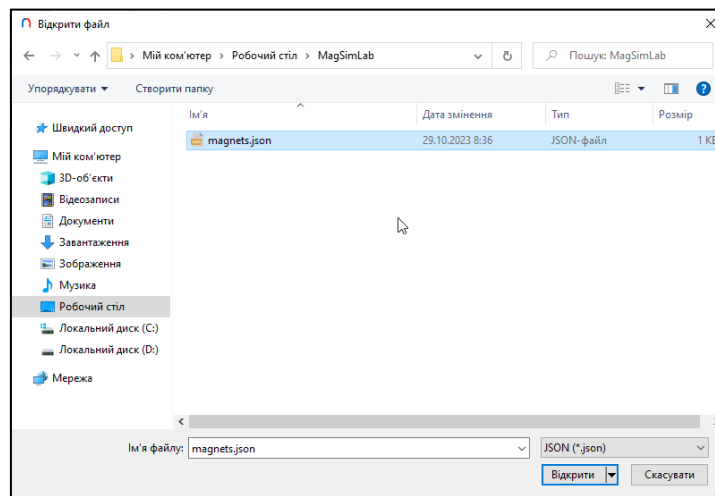


Рисунок 5.6 – Вікно вибору JSON файлу з даними про магніти

На рисунку 5.7 наведено приклад файлу.

```
magnet_list.json
1 [
2   {
3     "position": [
4       0.0,
5       0.0,
6       0.0
7     ],
8     "size": [
9       1.0,
10      1.0,
11      1.0
12    ],
13    "magnetization": [
14      0.0,
15      0.0,
16      1.1
17    ]
18  }
19 ]
```

Рисунок 5.7 – Приклад файлу з даними про магніти

Варто зазначити, що файл повинен містити дані у правильному форматі, аби програма могла їх зчитати.

В програмі реалізована функція задання максимальної кількості магнітів для моделювання.

Тож це треба враховувати, адже якщо, наприклад, у програмі зазначено максимальна кількість магнітів: двадцять, а файл містить у собі дані про магніти, яких більше ніж двадцять, то буде додано тільки перші двадцять магнітів.

- `position` – вказує на позицію магніту у просторі (x, y, z);
- `size` – вказує на розміри магніту (довжина, ширина та висота). Довжина вздовж осі x, ширина вздовж осі y та висота вздовж осі z;
- `magnetization` – вказує на намагніченість магніту, наприклад (0, 0, 1.1) вказує на те, що магніт намагнічений вздовж осі z;

В програмі реалізовано функції для перевірки коректності завантажених даних у форматі JSON. Якщо вибраний файл має не правильний вміст, виводиться наступне повідомлення (рисунок 5.8).

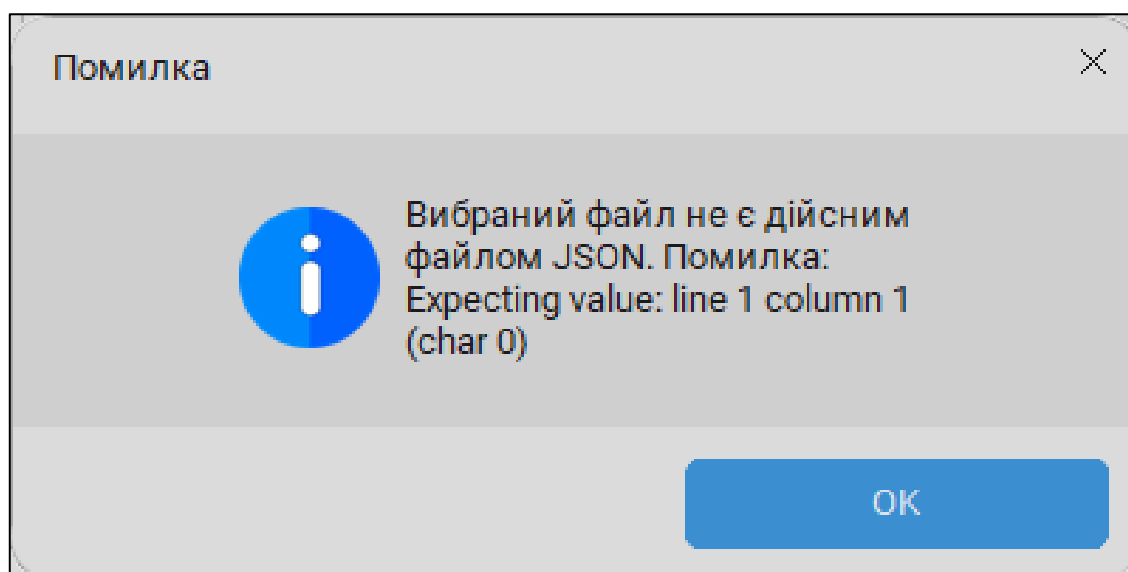


Рисунок 5.8 – Вікно з інформацією про помилку

Після внесення даних про магніти вони будуть відображатися в спеціальному вікні відсортовані у порядку додавання (рисунок 5.9).

Кожен окремий магніт записується у системі з використанням його позиції, оскільки кожен магніт повинен мати унікальну позицію.

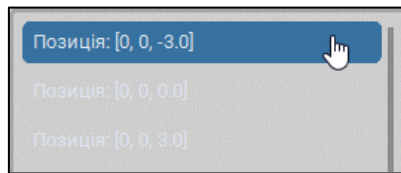


Рисунок 5.9 – Список доданих магнітів

Також є можливість видаляти додані магніти. Для цього потрібно вибрати необхідний магніт та натиснути на відповідну кнопку (рисунок 5.10), що розташована над списком магнітів.



Рисунок 5.10 – Кнопка видалення вибраного магніту

Також є можливість зберегти сформований список магнітів у форматі JSON за допомогою спеціальної кнопки (рисунок 5.11).

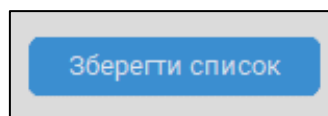


Рисунок 5.11 – Кнопка виклику функції збереження списку магнітів у форматі JSON

Після натискання на кнопку, відкриється спеціальне вікно (рисунок 5.12), за допомогою якого можна буде вибрати місце збереження файлу JSON з даними

про магніти. Дані будуть записані у такому ж форматі як і при додавання даних про магніти за допомогою файлу формату JSON.

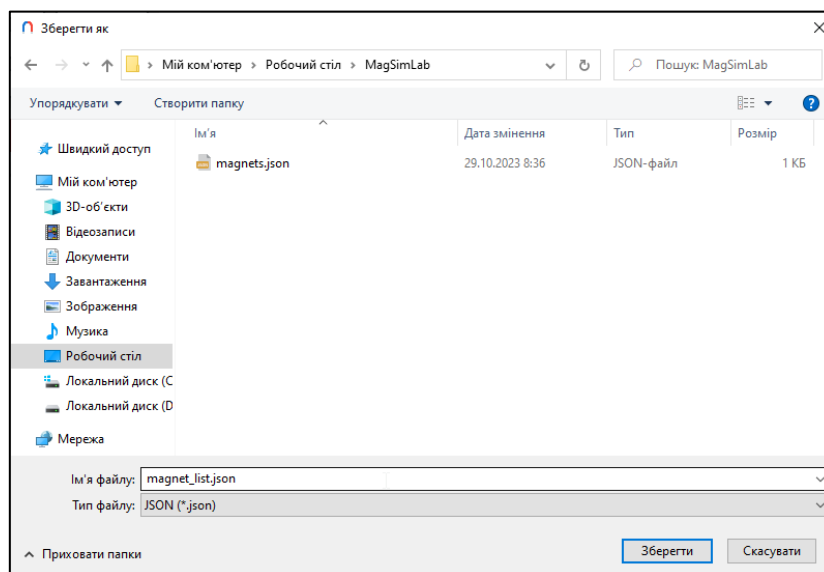


Рисунок 5.12 – Вікно збереження списку магнітів

Також на вкладці моделювання, по центру розташоване головне вікно відображення (рисунок 5.13).

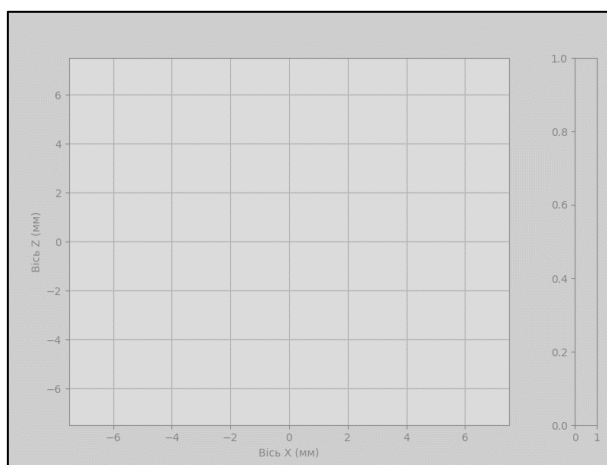


Рисунок 5.13 – Вікно відображення графічних результатів моделювання

На ньому будуть виводитися графічні результати моделювання.

Під ним розташована панель (рисунок 5.14) де будуть відображатися отримані результати моделювання (H_x та H_z – компоненти напруженості поля, H – напруженість поля) в заданій точці.

x	z	H_x (А/м)	H_z (А/м)	H (А/м)
0	0	0	0	0

Рисунок 5.14 – Панель відображення отриманих результати моделювання

Над вікном відображення графічних результатів знаходиться панель керування системою та вікном відображення графічних результатів (рисунок 5.15).

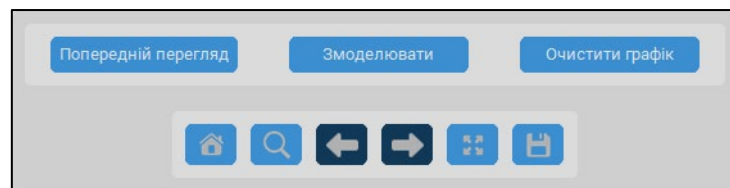


Рисунок 5.15 – Панель керування моделюванням системи та вікном відображення графічних результатів

Верхня частина панелі (рисунок 5.16) відповідає за керування моделюванням.

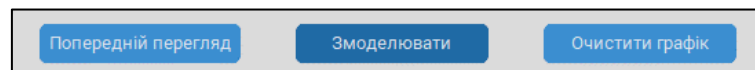


Рисунок 5.16 – Панель керування моделюванням системи та вікном відображення графічних результатів

На ній знаходяться три кнопки:

- “Попередній перегляд”

- “Змоделювати”
- “Очистити графік”

Перша кнопка, “Попередній перегляд”, дозволяє переглянути додані для моделювання системи магніти у 3D форматі (рисунок 5.17).

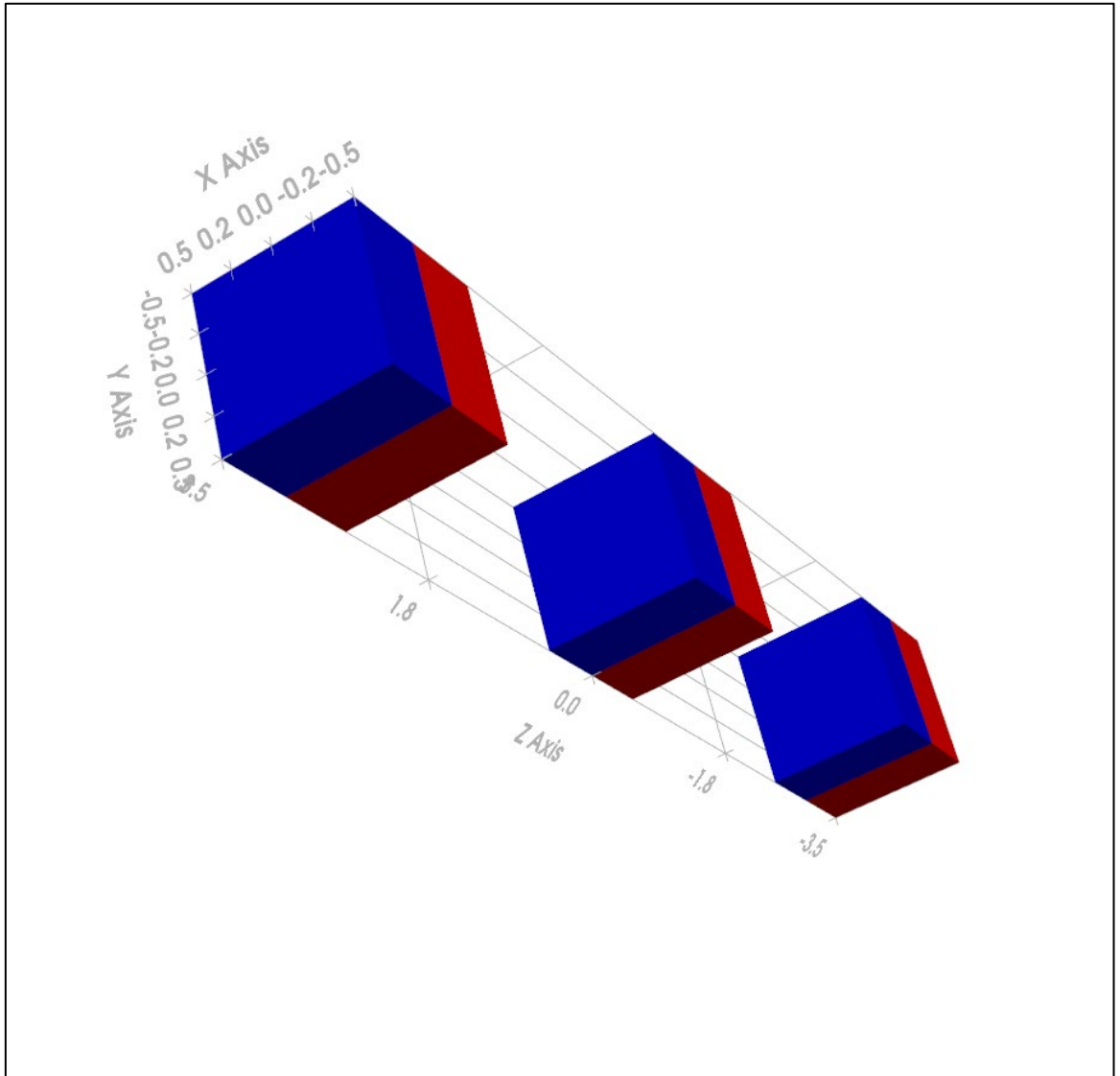


Рисунок 5.17 – Вікно перегляду доданих для моделювання магнітів у 3D форматі

Друга кнопка, “Змоделювати”, запускає процес моделювання на основі доданих магнітів.

Якщо не було додано бодай один магніт, програма повідомить про це у відповідному вікні (рисунок 5.18).

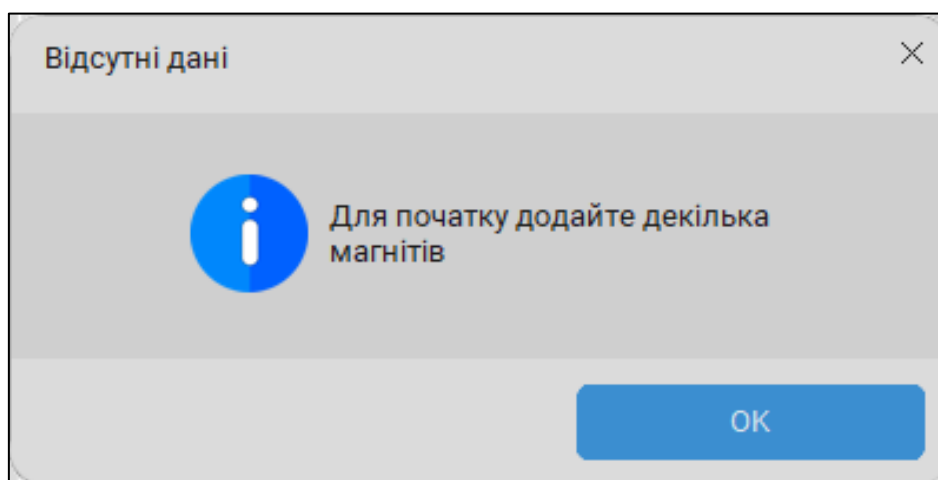


Рисунок 5.18 – Вікно з повідомленням про необхідність додати декілька магнітів перед початком моделювання

Третя кнопка, “Очистити графік”, призначена для очищення вікна відображення графічних результатів моделювання та панелі відображення отриманих результати моделювання.

Нижня частина панелі відповідає за керування вікном відображення графічних результатів.

На ній знаходяться шість кнопок:

- “Скидання сітки” – повертає масштабування сітки до початкового.
- “Масштабування до прямокутника” – надає змогу вибрати на полі дві точки, які є протилежними кутами прямокутника, після чого масштабує графік до заданого прямокутника.
- “Кнопка назад” та “Кнопка вперед” – дозволяють перемикатися між раніше заданими масштабуваннями сітки.
- “Повноекранний режим” – дозволяють перевести графік в окреме вікно.

- “Зберегти фігуру” – надає змогу зберегти графічний результат моделювання.

Після натискання кнопки “Зберегти фігуру” відкриється вікно (рисунок 5.19) в якому потрібно буде вибрати місце збереження фігури.

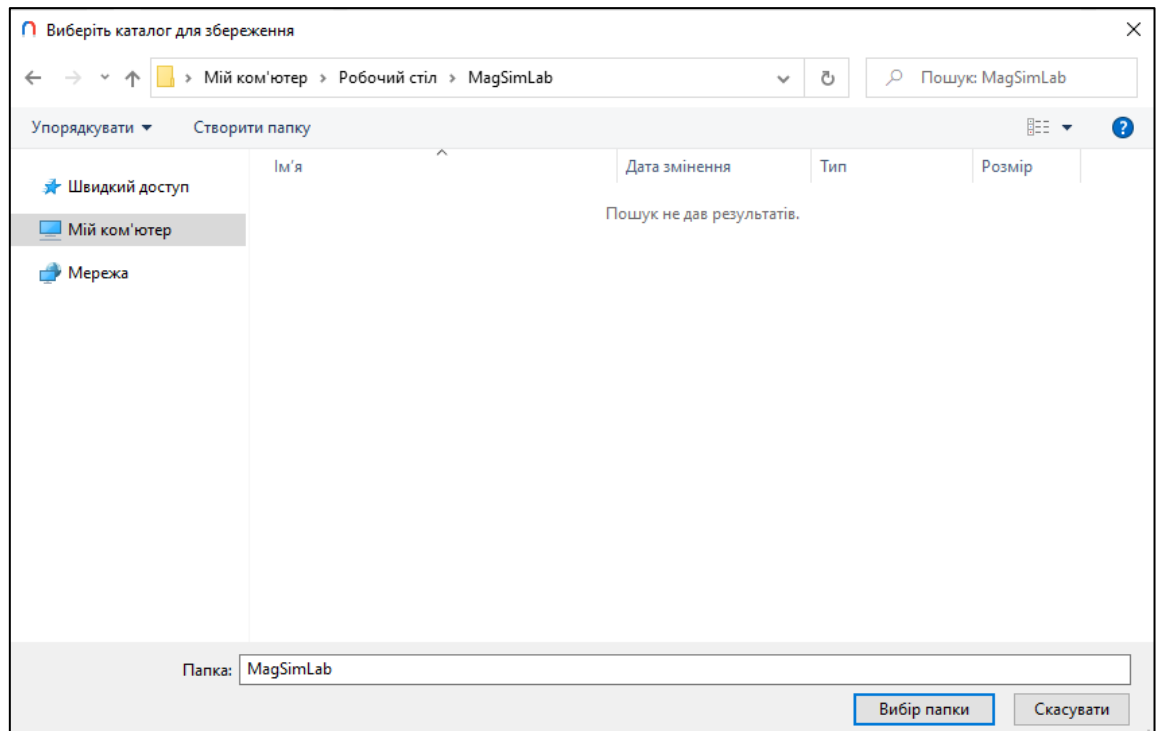


Рисунок 5.19 – Вікно вибору місця збереження фігури

Після чого відкриється вікно з детальними параметрами збереження фігури.

Для збереження фігури передбачені наступні параметри:

- Назва файлу – повинна містити тільки літери, числа, коми, пробіли та дефіси.
- Прозорість – якщо увімкнено, то усі осі будуть прозорими. Осі фігури також будуть прозорими, якщо колір краю не вказано.
- DPI – роздільна здатність.
- Формат – формат файлу, в програмі передбачено збереження в “png”, “pdf” чи “svg”.

- Орієнтація – альбомна або портретна.

На рисунку 5.20 наведено вигляд такого вікна.

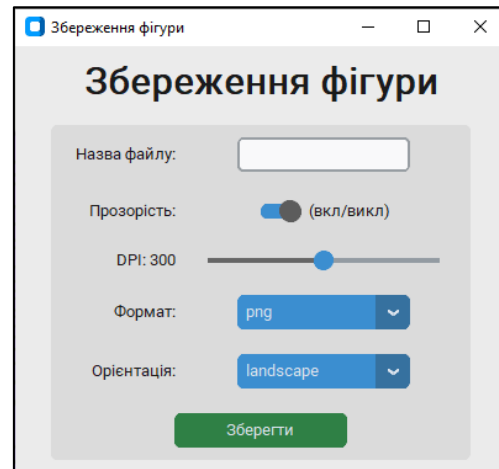


Рисунок 5.20 – Вікно з детальними параметрами збереження фігури

Після вибору всіх налаштувань можна натискати кнопку “Зберегти” після чого програма збереже файл у вибране раніше місце розташування під заданою назвою та форматом. Якщо ж назва файлу буде містити несумісні символи, то програма повідомить про це у відповідному вікні (рисунок 5.21).

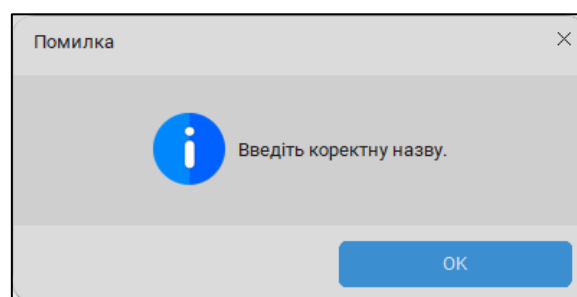


Рисунок 5.21 – Вікно з повідомленням про необхідність введення коректної назви файлу

Якщо файл з такою назвою вже знаходиться в місці розташування, то програма спочатку запитає чи потрібно його перезаписати. Справа від вікна

відображення графічних результатів знаходиться панель редагування сітки та контурного графіку (рисунок 5.22).

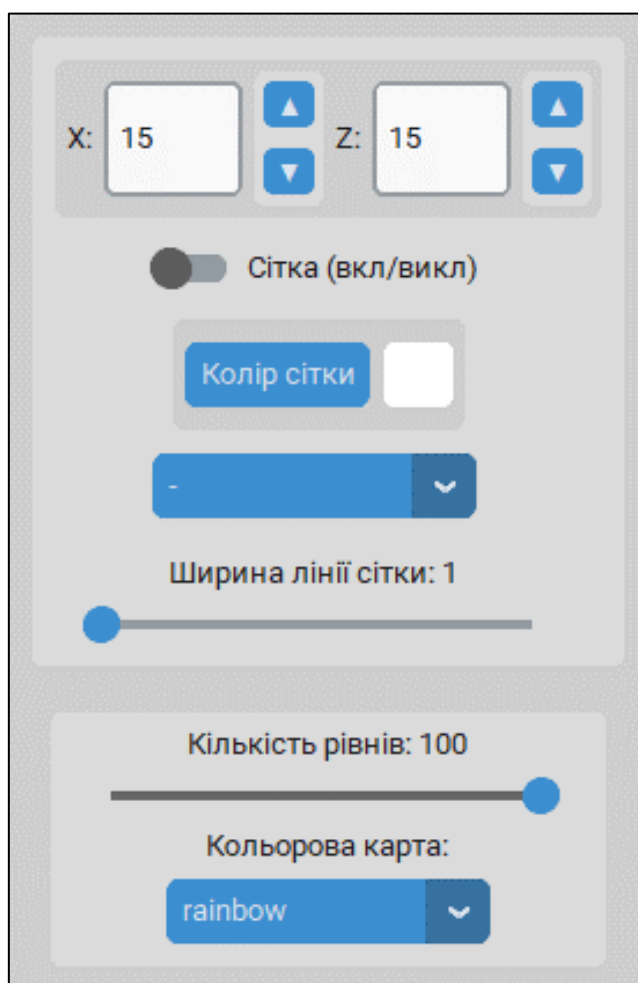


Рисунок 5.22 – Панель редагування сітки та контурного графіку

Ця панель надає можливість редагувати сітку та контурний графік. На ній було реалізовано декілька кнопок та полів вводу.

Наразі доступні наступні функції:

- Зміна розміру сітки – надає можливість задати розмір сітки (від 5 до 100 включно).
- Увімкнення/Вимкнення сітки – вмикає чи вимикає відображення сітки.
- Зміна кольору сітки – надає можливість задати колір сітки в спеціальному вікні (рисунок 5.23).

- Зміна типу сітки – надає можливість вибрати 1 з 4 наявних типів сітки.
- Зміна товщини сітки – надає можливість задати товщину сітки.
- Зміна кількості рівнів – надає можливість задати кількість рівнів контурного графіку.
- Зміна типу кольорової карти – надає можливість вибрати з поміж більш ніж 10 видів кольорових карт.

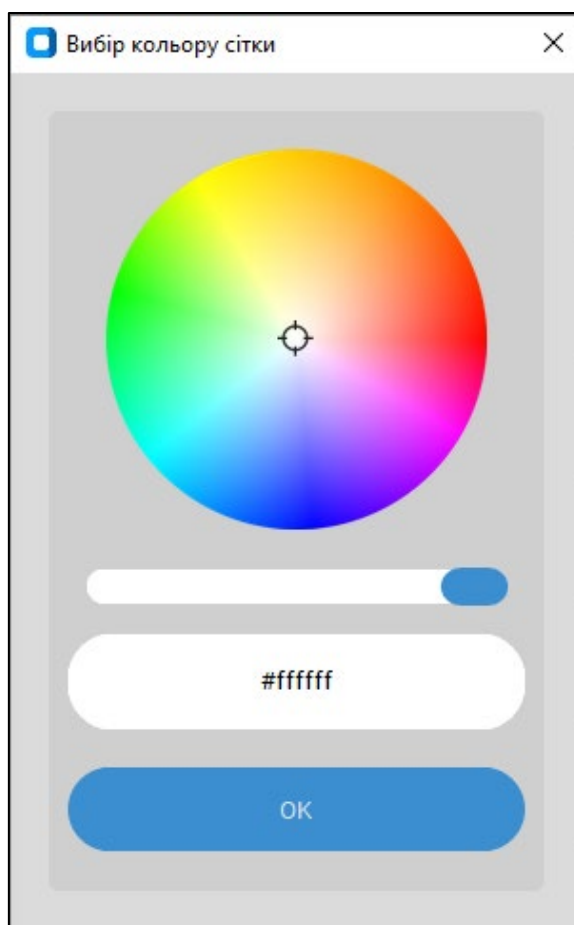


Рисунок 5.23 – Вікно вибору кольору сітки

Вкладка перегляд даних (рисунок 5.24) поділена на дві панелі.

Перша містить у собі декілька кнопок для керування імпортом та експортом чисельних результатів моделювання.

Інша ж частина призначена для відображення імпортованих чисельних результатів моделювання у вигляді таблиці.

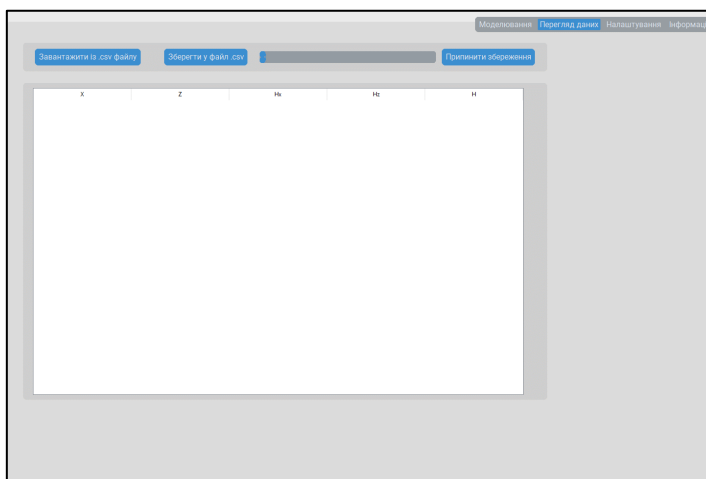


Рисунок 5.24 – Головне вікно вкладки перегляд даних

Після натискання кнопки “Завантажити із .csv файлу” відкриється вікно (рисунок 5.25) вибору файлу з чисельними результатами моделювання.

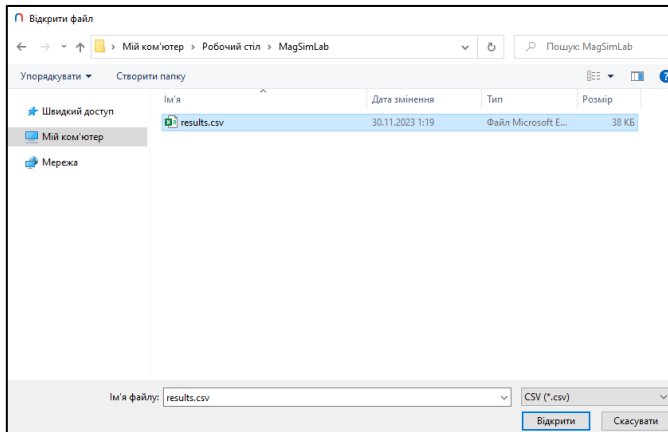


Рисунок 5.25 – Вікно вибору файлу з чисельними результатами моделювання

Вибрати можна лише файли з розширенням .csv. В програмі також розроблена перевірка при виборі файлу. Так, якщо при сканування файлу виникнуть якісь помилки програма повідомить про це у відповідному вікні (рисунок 5.26) зазначивши саму помилку.

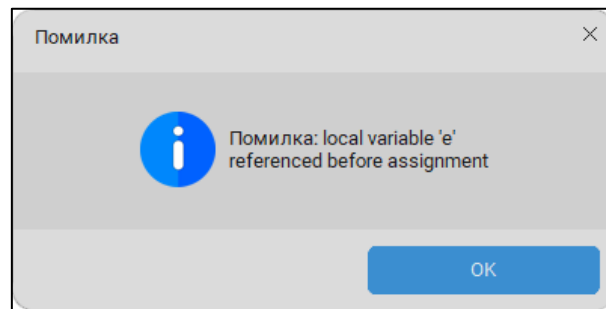


Рисунок 5.26 – Вікно з повідомленням про помилку при імпорті файлу

Після вибору файлу дані одразу ж завантажуться в програму та будуть відображені у таблиці (рисунок 5.27).

X	Z	Hx	Hz	H
-7.5	-7.5	0.00124	0.0	0.00124
-6.98276	-7.5	0.00132	9e-05	0.00133
-6.46552	-7.5	0.00141	0.00021	0.00142
-5.94828	-7.5	0.00148	0.00035	0.00152
-5.43103	-7.5	0.00154	0.00051	0.00162
-4.91379	-7.5	0.00159	0.00069	0.00173
-4.39655	-7.5	0.00161	0.0009	0.00184
-3.87931	-7.5	0.00159	0.00113	0.00195
-3.36207	-7.5	0.00154	0.00137	0.00206
-2.84483	-7.5	0.00144	0.00162	0.00217
-2.32759	-7.5	0.00128	0.00186	0.00226
-1.81034	-7.5	0.00107	0.00208	0.00234
-1.2931	-7.5	0.00081	0.00227	0.00241
-0.77586	-7.5	0.0005	0.0024	0.00245
-0.25862	-7.5	0.00017	0.00247	0.00247
0.25862	-7.5	-0.00017	0.00247	0.00247
0.77586	-7.5	-0.0005	0.0024	0.00245
1.2931	-7.5	-0.00081	0.00227	0.00241
1.81034	-7.5	-0.00107	0.00208	0.00234
2.32759	-7.5	-0.00128	0.00186	0.00226
2.84483	-7.5	-0.00144	0.00162	0.00217
3.36207	-7.5	-0.00154	0.00137	0.00206
3.87931	-7.5	-0.00159	0.00113	0.00195
4.39655	-7.5	-0.00161	0.0009	0.00184
4.91379	-7.5	-0.00159	0.00069	0.00173
5.43103	-7.5	-0.00154	0.00051	0.00162
5.94828	-7.5	-0.00148	0.00035	0.00152
6.46552	-7.5	-0.00141	0.00021	0.00142
6.98276	-7.5	-0.00132	9e-05	0.00133
7.5	-7.5	-0.00124	0.0	0.00124

Рисунок 5.27 – Таблиця з імпортованими чисельними результатами моделювання

Таблиця реалізована з можливістю прокрутки.

При натисканні на кнопку “Зберегти файл у .csv” програма спочатку перевірить чи є дані для збереження і якщо дані відсутні, то виведе відповідне повідомлення (рисунок 5.28).

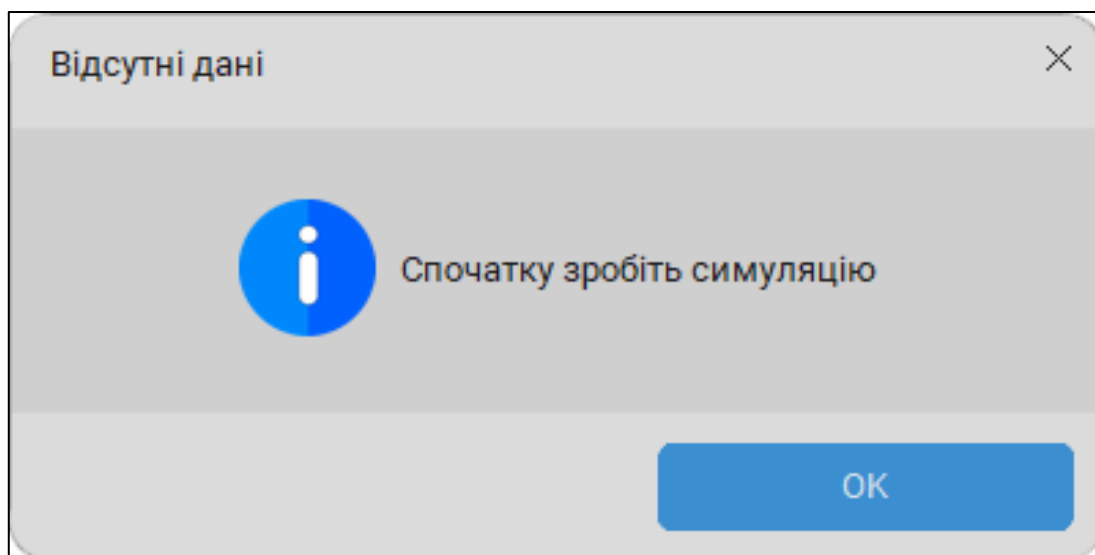


Рисунок 5.28 – Вікно з повідомленням про необхідність проведення симуляції перед збереженням даних

Якщо ж симуляція була проведена, то після натискання на кнопку “Зберегти файл у .csv” шкала почне заповнюватися (рисунок 5.29).

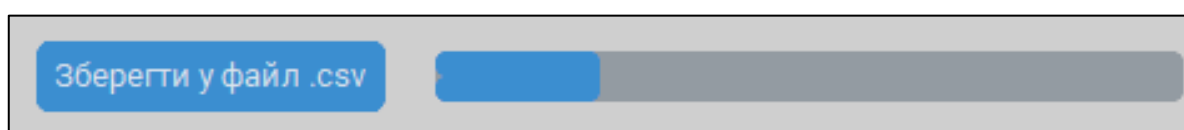


Рисунок 5.29 – Шкала відображення ходу збереження чисельних результатів моделювання

Після того як шкала повністю заповниться програма повідомить про те, що файл успішно збережено (рисунок 5.30).

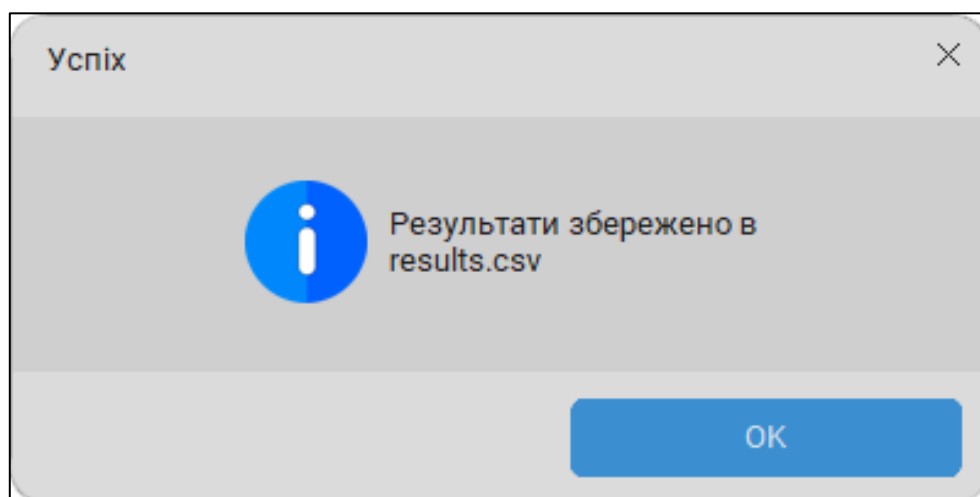


Рисунок 5.30 – Вікно з повідомленням про успішне збереження чисельних результатів моделювання

Також додана можливість перервати збереження результатів за допомогою кнопки “Припинити збереження”. Після натискання на яку буде виведено відповідне повідомлення (рисунок 5.31).

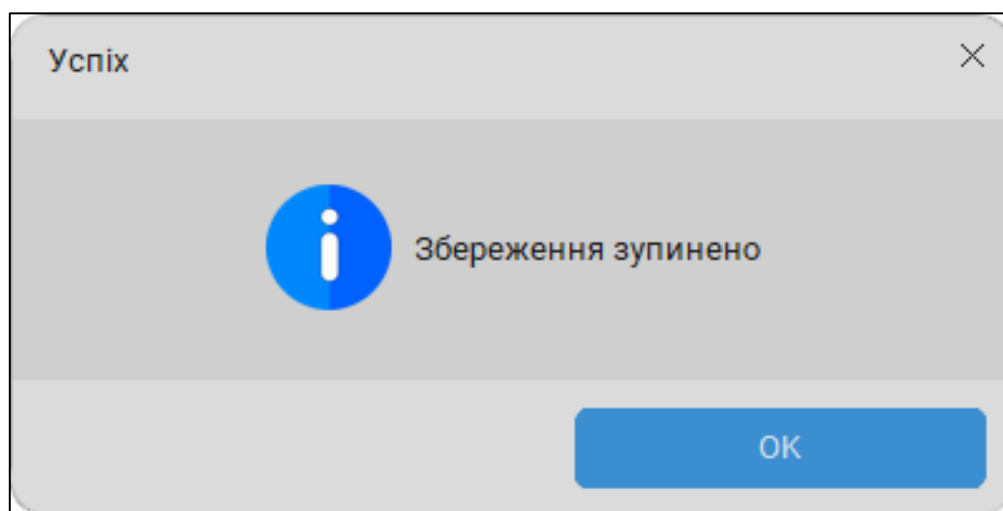


Рисунок 5.31 – Вікно з повідомленням про успішну зупинку збереження файлу

На верхній панелі вкладок програми також доступна вкладка “Налаштування” (рисунок 5.32).



Рисунок 5.32 – Головне вікно вкладки “Налаштування”

В ній можна змінювати наступні параметри програми:

- Тема додатку – темна, світла чи системна (буде використана тема, що встановлена на вашій системі).
- Масштабування – від 80% до 120% з кроком у 10%.
- Зміна мови – наразі доступно українська та англійська.
- Зміна максимальної допустимої кількості магнітів для моделювання.

Також є вкладка “Інформація” (рисунок 5.33) на якій можна переглянути необхідну інформацію про програму.

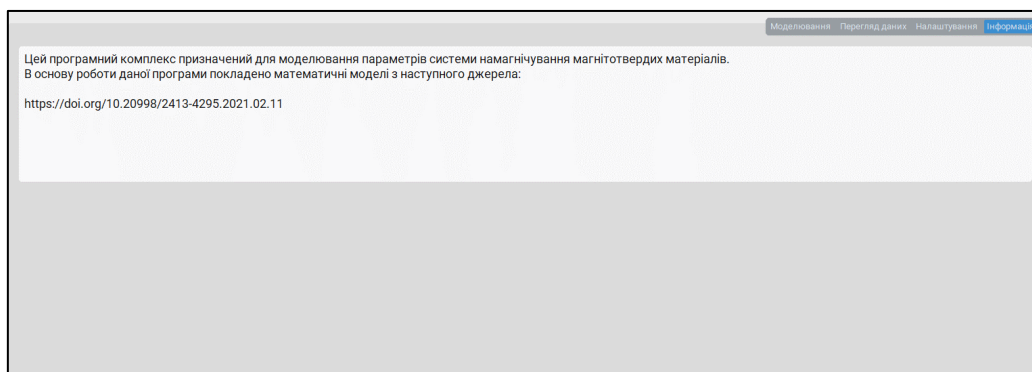


Рисунок 5.33 – Головне вікно вкладки “Інформація”

Це вікно надає інформацію про головні функції програми.

Також у вікні надано посилання на використані математичні моделі.

5.3 Приклад роботи програми

Додамо декілька магнітів до системи за допомогою полів для введення даних про магніти (рисунок 5.34). Параметри заданих магнітів наведені у таблиці 5.1.

Рисунок 5.34 – Додавання магнітів

Таблиця 5.1 – Параметри заданих магнітів:

Параметри Магніти	Позиція ($\text{м} * 10^{-3}$)	Розміри ($\text{м} * 10^{-3}$)	Магнітна індукція (Тл)
1-й магніт	x: 0 y: 0 z: -3	довжина: 4.0 ширина: 2.0 висота: 1.0	вздовж осі x: 0.0 вздовж осі y: 0.0 вздовж осі z: 1.1
2-й магніт	x: 0 y: 0 z: 0	довжина: 4.0 ширина: 2.0 висота: 0.5	вздовж осі x: 0.0 вздовж осі y: 0.0 вздовж осі z: 0.01
3-й магніт	x: 0 y: 0 z: 3	довжина: 4.0 ширина: 2.0 висота: 1.0	вздовж осі x: 0.0 вздовж осі y: 0.0 вздовж осі z: 1.1

Після чого натискаємо на кнопку “Змодельовати” та отримуємо графічний результат моделювання (рисунок 5.35).

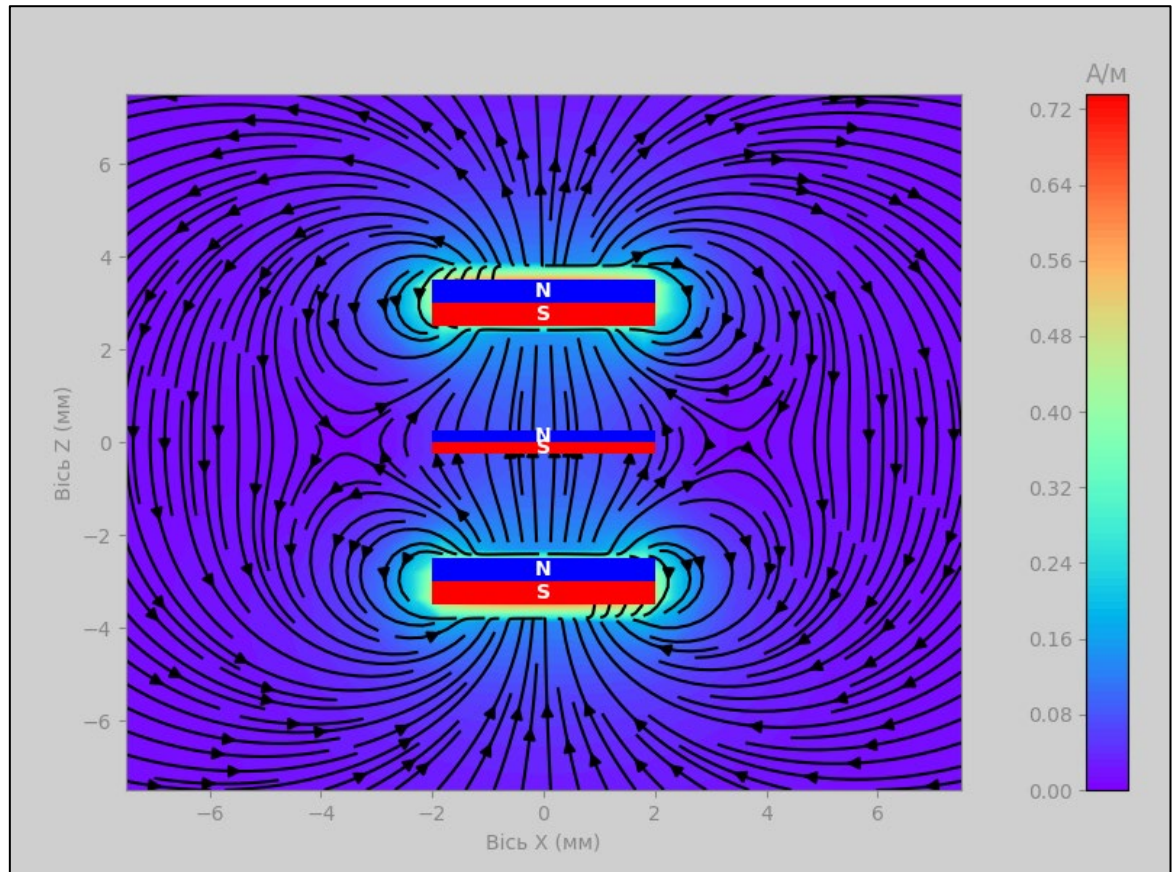


Рисунок 5.35 – Графічний результат моделювання

При натисканні на поле, на нижній панелі отримаємо значення параметрів напруженості поля у заданій точці (рисунок 5.36).

X	Z	Hx (A/м)	Hz (A/м)	H (A/м)
2.91667	0.09375	-0.00290	0.01400	0.01430

Рисунок 5.36 – Значення параметрів моделювання у заданій точці

Для порівняння наведемо графічний результат (рисунок 5.37), котрий був отриманий використовуючи бібліотеку Magpylib.

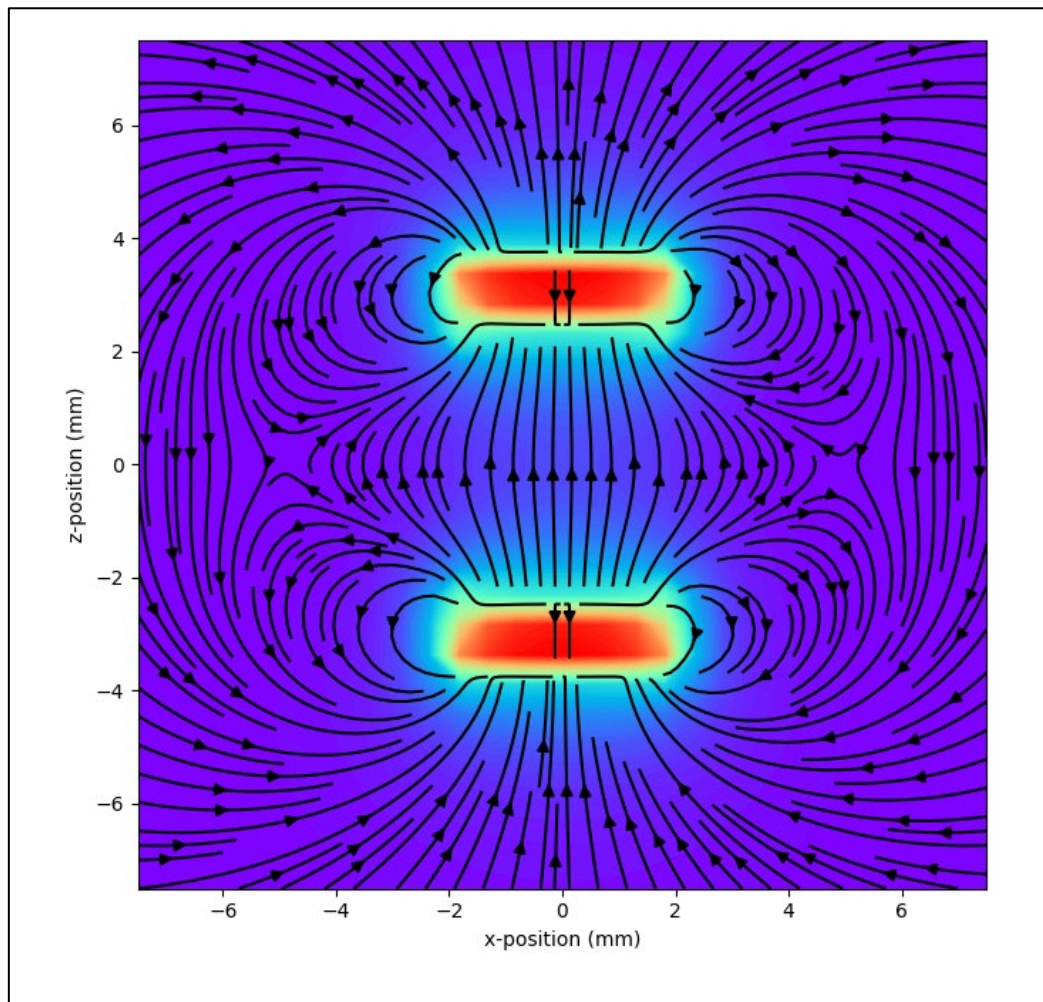


Рисунок 5.37 – Графічний результат отриманий за допомогою використання бібліотеки Magpylib

Тепер використовуючи бічну панель налаштувань поля відображення графічної інформації, спробуємо додати сітку та задати їй зелений колір за допомогою спеціального вікна (рисунок 5.38).

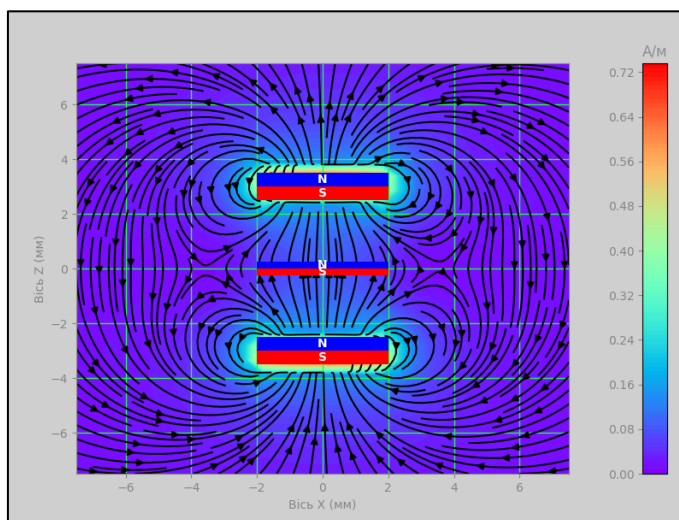


Рисунок 5.38 – Поле відображення графічної інформації з увімкненою сіткою

Як бачимо сітку не дуже чітко видно, тому використовуючи ту саму панель задамо сітці більшу товщину та заодно змінимо її тип (рисунок 5.39).

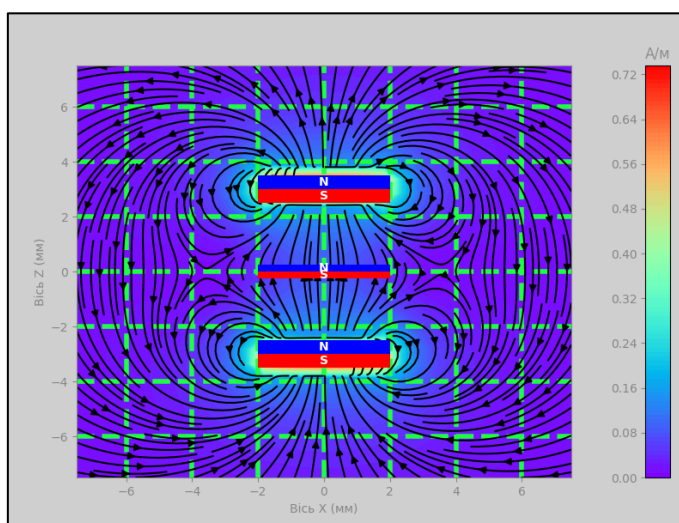


Рисунок 5.39 – Поле відображення графічної інформації з новими параметрами сітки

Також збережемо наш графічний результат у форматі pdf. Для цього натиснемо на кнопку “Зберегти фігуру”, після чого потрібно обрати місце

збереження файлу. Після вибору місця збереження файлу відкриється окремо віконце, в якому можна задати наступні параметри фігури:

- назва файлу – result;
- прозорість – увімкнена;
- DPI – 600;
- формат – обираємо pdf;
- орієнтація – альбомна.

Після чого натискаємо на кнопку “Зберегти” та отримуємо наступний результат (рисунок 5.40).

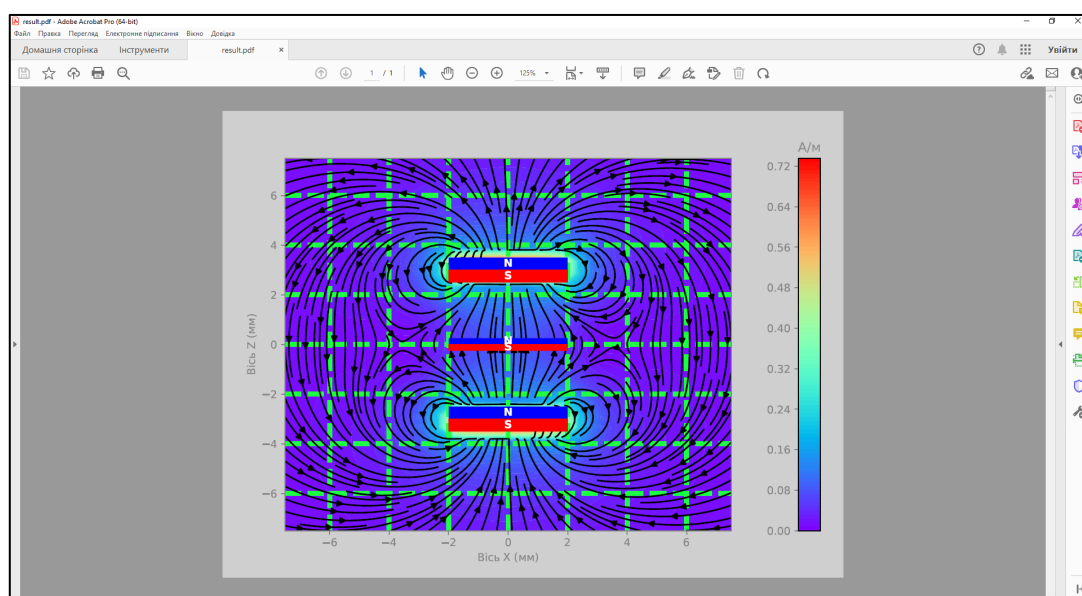


Рисунок 5.40 – Збережений у форматі pdf графічний результат моделювання системи намагнічування магнітотвердих матеріалів

Висновки до розділу 5

У даному розділі дипломної роботи представлено розроблений додаток “MagSimLab”, спрямований на моделювання магнітних полів. Зазначено, що

програма підтримує операційні системи Windows, macOS та Linux, надаючи можливість користувачам здійснювати взаємодію з додатком на різних платформах.

В розділі описано функціональні можливості користувача, серед яких додавання та видалення магнітів, збереження та завантаження даних у JSON форматі, моделювання системи, налаштування параметрів сітки та інші. Детально проаналізовано вкладки програми, розглянуті основні функції та інтерфейс, який спрощує введення даних користувачем. Наочно представлено діаграму прецедентів системи.

У розділі також описано процес додавання даних про магніти через спеціальні віконця та можливість завантаження цих даних з файлу у форматі JSON. Проведено аналіз можливих помилок під час завантаження даних та визначено шляхи їх виправлення.

Загалом, даний розділ надає повний огляд функціональності та інтерфейсу розробленого додатку, що дозволяє користувачам зручно та ефективно працювати з моделюванням магнітних полів.

6 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

Ідея стартап проекту – створення додатку, який буде моделювати систему намагнічування магнітотвердих матеріалів.

Тема дипломної роботи, є перспективною, тому можна розглянути можливість реалізації її у формі стартап проекту. Визначення основних ризиків та аналіз ринку є важливим етапом у процесі розробки та впровадження ідеї для стартапу. Приблизно 90% стартапів не досягають успіху і закінчуються невдачею, що є неприємною статистикою, особливо для тих, хто має намір розпочати власний проект. Щоб уникнути потрапляння до цієї більшості, недостатньо мати лише ідею, яка, на вашу думку, вразить світ [28]. Отже, перед тим як розпочати розробку та впровадження системи, важливо детально вивчити всі аспекти та провести аналіз ринку.

6.1 Реалізація стартап-проекту

Основні етапи формування базових концепцій та ідей проекту розкриті в наведених нижче таблицях.

Таблиця 6.1 – Загальні дані стартап-проекту:

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка комп'ютерної програми для моделювання систем намагнічування магнітотвердих матеріалів.	Виробництво магнітних матеріалів для електроніки, магнітної зберігання інформації, медичних пристроїв та інших сфер.	Зменшення витрат на дослідження та розробку систем з використанням магнітних матеріалів, поліпшення якості та ефективності виробництва, розширення можливостей в області магнітної технології.

Таблиця 6.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту:

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розробка комп'ютерної програми для моделювання систем намагнічування магнітотвердих матеріалів.	Python, Tkinter, PyCharm	Вбудованих бібліотек та інструментів буде достатньо для розробки.	Так, хоча вони є платними, але існують студентські ліцензії, які можна отримати.

Реалізація запропонованого проекту планується здійснювати за допомогою програмного забезпечення PyCharm з використанням мови програмування Python та бібліотеки Tkinter. Незважаючи на те, що PyCharm є комерційним продуктом, отримання студентських безкоштовних версій не є проблемою. Аналіз попиту на конкретні послуги чи технології відіграє важливу роль у вивченні будь-якого ринку.

Таблиця 6.3 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту:

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж	Невідомий
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Відсутні
5	Специфічні вимоги для стандартизації, специфікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	Невідомо

Серед основних учасників виділяються COMSOL Multiphysics, ANSYS Maxwell та бібліотека Magpylib. З урахуванням швидкої динаміки розвитку технологій у сфері моделювання магнітних систем і потреби у розширенні функціоналу, даний стартап-проект є обґрунтованим для подальшого розвитку та

виникнення нових учасників на ринку. Вартість послуг та їх якість визначають потенційну базу клієнтів.

Таблиця 6.4 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту:

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Необхідність у доступі до математичних моделей використаних у програмі.	Дослідники магнітних полів.	Дослідники магнітних полів матимуть доступ до використаних математичних моделей.	Можливість легко переглянути використані математичні моделі.
2	Необхідність у безкоштовній версії	Студенти та освітні заклади.	Студенти та освітні заклади матимуть змогу використовувати програму на безоплатній основі.	Безкоштовність програмної системи.

До факторів загроз включаються виключно фінансові та часові аспекти, оскільки точно не відомо, які фінансові витрати та витрати часу будуть потрібні для успішного прототипування.

Таблиця 6.5 – Вибір цільових груп потенційних споживачів:

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Дослідники магнітних полів.	Готові	Середній	Присутня	Середня

Продовження таблиці 6.5

2	Студенти та освітні заклади.	Готові	Високий	Відсутня	Висока
3	Інженери, що працюють у сферах електроніки та виробництва пристроїв.	Готові	Середній	Відсутня	Середня
4	Підприємства, що працюють з магнітними матеріалами.	Готові	Середній	Присутня	Середня

Таблиця 6.6 – Фактори загроз:

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Конкуренцію складають достатньо відомі підприємства.	Розробка конкурентних характеристик.
2	Функціональність	Кожен виріб відрізняється своїми унікальними особливостями і вимагає індивідуального підходу.	Впровадження нових функцій.
3	Репутація	Компанія, що вперше виходить на ринок, ще не має репутації.	Нарощувати репутацію різними способами. Організація відкритих заходів, таких як семінари, тренінги та курси, для привертання клієнтів.

Таблиця 6.7 – Визначення базової стратегії розвитку:

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Динамічний розвиток завдяки маркетингу.	Створення власної системи.	Простота, ефективне використання ресурсів, відкритий вихідний код, низькі витрати.	Стратегія диференціації.

Таблиця 6.8 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки:

№ п/п	Чи є я “першопрохідцем” на ринку	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ідея не є першопрохідною	Буде шукати нових користувачів і забирати у існуючих конкурентів.	Буде наслідувати найкращі характеристики конкурентів та розробляти аналоги.	Стратегія наслідування лідера

Таблиця 6.9 – Визначення стратегії позиціонування:

№ п/п	Вимоги до товару	Базова стратегія	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Простота, доступність, відкритий вихідний код, низькі витрати.	Стратегія диференціації.	Доступ до використаних математичних моделей, відкритий вихідний код, низькі витрати.	Доступність використаних математичних моделей, відкритий вихідний код, низькі витрати.

Таблиця 6.10 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару:

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Наявність використаних математичних моделей.	Надання доступу до всіх використаних математичних моделей.	Задоволення потреб клієнта у доступі до всіх використаних математичних моделей.

Далі ми переходимо до створення трирівневої моделі продукту. На цьому етапі формулюються ключові концепції та проводиться прототипування.

Таблиця 6.11 – Опис трьох рівнів моделі товару:

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Програмний продукт для моделювання полів намагнічування.
2. Товар у реальному виконанні	Робочий додаток з інтуїтивним інтерфейсом та багатим функціоналом.
	Графічний звіт із детальним аналізом полів намагнічування.
	Доступ до використаних математичних моделей.
3. Товар із підкріпленням	Демонстраційна версія з безкоштовним доступом та обмеженим функціоналом.
	Безкоштовна версія для студентів та закладів освіти.
	Платна версія для комерційного використання.

Для подібного проекту рекомендовано встановити альтернативну систему збуту, оскільки в ньому відсутність комерційної таємниці дозволяє розглядати інші опції. Один із варіантів – використання посередників, які можуть ефективно впроваджувати та рекламувати послуги, забезпечуючи більший охоплення аудиторії та підвищуючи конкурентоспроможність.

Таблиця 6.12 – Формування системи збуту:

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
-------	---	--	----------------------	--------------------------

Продовження таблиці 6.12

1	Альтернативна систему збуту.	Імплементация програмного забезпечення.	Канал першого рівня.	Альтернативна систему збуту, через різного роду майданчики для додатків.
---	------------------------------	---	----------------------	--

Таблиця 6.13 – Концепція маркетингових комунікацій:

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення
1	Зацікавленість, питання, комунікація та укладання угод.	Електронна пошта, мобільний зв'язок, виставки та рекламні матеріали.	Забезпечення доступної та об'єктивної інформації про компанію та її товари.	Надання детальної інформації про товари та укладення потенційних угод про співпрацю.

Висновки до розділу 6

У даному розділі магістерської дисертації розглянуто ключові аспекти реалізації стартап-проекту, спрямованого на розробку комп'ютерної програми для моделювання системи намагнічування магнітотвердих матеріалів. Основний акцент зроблено на аналізі ринку та визначенні основних ризиків, які можуть виникнути на шляху розвитку проекту.

Проведений аналіз ринку включає в себе огляд напрямків застосування, вигоди для користувача, технологічну здійсненність ідеї проекту, а також попередню характеристику потенційного ринку та його учасників. Виявлено, що

ринок моделювання магнітних систем динамічно розвивається, і існує певний попит на нові технології та сервіси в даній галузі.

Надано аналіз технологічної здійсненності ідеї, де зазначено, що наявність технологій для реалізації проекту є досить широкою, з можливістю отримання студентських ліцензій на комерційне програмне забезпечення.

Розглянуто також питання попередньої характеристики потенційного ринку та його учасників, а також визначено потреби та вимоги потенційних клієнтів.

Наведені таблиці забезпечують детальний огляд ключових параметрів та факторів, які слід враховувати при реалізації стартап-проекту, таких як стан ринку, характеристика потенційних клієнтів, вибір цільових груп, загрози та можливості.

У висновку можна сказати, що на основі проведеного аналізу існує обґрунтована підстава для подальшого розвитку та реалізації даного стартап-проекту. Продуманий підхід до аналізу ринку та визначення цільової аудиторії може сприяти успішній реалізації інноваційної ідеї в сфері моделювання систем намагнічування магнітотвердих матеріалів.

ВИСНОВКИ

В ході виконання даної дипломної роботи виконано наступні задачі:

- проведено аналіз існуючих платформ для моделювання магнітного поля;
- запропоновано оригінальну програмну систему;
- розроблено новий програмний інструмент “MagSimLab”;
- результати роботи було апробовано на XX Міжнародній науковій та практичній конференції молодих вчених і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики» [29].

Під час аналізу існуючих платформ для моделювання магнітного поля було визначено, що існують різноманітні програми, спрямовані на вирішення завдань з області електромагнітної сумісності та дослідження магнітних полів. До таких платформ входять, наприклад, COMSOL Multiphysics, ANSYS Maxwell і деякі інші.

Враховуючи переваги та недоліки існуючих платформ які були виявлені при їх детальному аналізі, було запропоновано створити власний інструмент для моделювання магнітного поля.

Після вивчення можливостей і вимог проекту був розроблений власний інструмент для моделювання магнітного поля. Було створено графічний інтерфейс користувача, що спрощує введення параметрів моделювання та візуалізацію отриманих результатів. Це дозволить користувачам зручно взаємодіяти з програмою та швидко отримувати необхідну інформацію. Також було реалізовано можливість використання програми як українською так і англійською мовами. У подальшому планується розширення цього списку, аби охопити якомога більший спектр користувачів. Було реалізовано можливість вводу даних про магніти як вручну, так і за допомогою JSON файлів. Це дало змогу розширити можливості використання програми та посприяло зручності в роботі з великими обсягами даних. Були розроблені методи для обчислення

магнітного поля та його відрисовки на області виведення графічних результатів моделювання системи. Також було реалізовано можливість налаштування вікна виведення графічних результатів та збереження їх для подальшого аналізу. Це надало користувачам можливість зручно відображати результати та зберігати дані для подальшого використання.

Виконані завдання дозволяють моделювати систему намагнічування магнітотвердих матеріалів, забезпечуючи користувачам зручність, гнучкість та можливість проведення аналізу результатів. Розроблена програма може бути корисною у вивченні та дослідженні магнітних властивостей матеріалів.

Додаток має потенціал для розвитку у майбутньому, за рахунок реалізації більшого спектра функцій та оптимізації швидкодії моделювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Magnetically hard materials. NPL Website. URL: <https://www.npl.co.uk/products-services/magnetics/hard-materials> (дата звернення: 28.10.2023).
2. Json. JSON. URL: <https://www.json.org/json-en.html> (дата звернення: 28.10.2023).
3. The Editors of Encyclopaedia Britannica. Magnetic field | definition & facts. Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/science/magnetic-field> (дата звернення: 28.10.2023).
4. Sheldon R. What is magnetic field strength? – TechTarget Definition. WhatIs.com. URL: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/magnetic-field-strength> (дата звернення: 28.10.2023).
5. Magnetic materials: definition & classification | studysmarter. StudySmarter UK. URL: <https://www.studysmarter.co.uk/explanations/physics/magnetism-and-electromagnetic-induction/magnetic-materials/> (дата звернення: 28.10.2023).
6. Магнітні матеріали. www.wikidata.uk-ua.nina.az. URL: https://www.wikidata.uk-ua.nina.az/Магнітні_матеріали.html (дата звернення: 02.12.2023).
7. Cullity B. D., Graham C. D. Introduction to magnetic materials. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2008.
8. URL: <https://doc.comsol.com/6.1/docserver/#!/com.comsol.help.comsol/helpdesk/helpdesk.html> (дата звернення: 28.10.2023).
9. Imad Al-Din Kimi. Advantages and disadvantages of COMSOL multiphysics. Voltagea. URL: <https://www.voltagea.com/2022/12/advantages-and-disadvantages-of-comsol-multiphysics.html> (дата звернення: 28.10.2023).

- 10.URL: <https://www.ansys.com/training-center/course-catalog/electronics/ansys-maxwell-getting-started> (дата звернення: 28.10.2023).
- 11.The Magpylib Documentation – Magpylib 4.4.1 documentation. The Magpylib Documentation – Magpylib 4.4.1 documentation. URL: <https://magpylib.readthedocs.io/en/latest/> (дата звернення: 03.12.2023).
- 12.3.9.17 documentation. 3.12.0 Documentation. URL: <https://docs.python.org/3.9/> (дата звернення: 28.10.2023).
- 13.Using Python for High-Performance Mathematical Computing in Software. URL: <https://medium.com/@AurigaInc/using-python-for-high-performance-mathematical-computing-in-software-b4c6c47cada9> (дата звернення: 28.10.2023).
- 14.Why Python keeps growing, explained. The GitHub Blog. URL: <https://github.blog/2023-03-02-why-python-keeps-growing-explained/> (дата звернення: 03.12.2023).
- 15.Моore A. D. Python GUI Programming with Tkinter: Develop responsive and powerful GUI applications with Tkinter. Packt Publishing, 2018. 452 с.
- 16.Qt for python. Qt Documentation | Home. URL: <https://doc.qt.io/qtforpython-6/> (дата звернення: 03.12.2023).
- 17.amigos-maker. Python GUI, PyQt vs TKinter. DEV Community. URL: <https://dev.to/amigosmaker/python-gui-pyqt-vs-tkinter-5hdd> (дата звернення: 03.12.2023).
- 18.Real Python. Python GUI programming with tkinter – real python. Python Tutorials – Real Python. URL: <https://realpython.com/python-gui-tkinter/> (дата звернення: 28.10.2023).
- 19.Documentation Introduction | CustomTkinter. Official Documentation And Tutorial | CustomTkinter. URL: <https://customtkinter.tomschimansky.com/documentation/> (дата звернення: 28.10.2023).
- 20.Rougier N. P. Scientific visualization: python + matplotlib. AFNIL, 2021. 247 с.

21. Developer documentation – scipy v1.12.0.dev manual. URL: <http://scipy.github.io/devdocs/dev/> (дата звернення: 28.10.2023).
22. NumPy. NumPy. URL: <https://numpy.org/> (дата звернення: 03.12.2023).
23. Top 10 advantages of matplotlib in python - TG. Talent Assessments for Skills-Based Hiring - TestGorilla. URL: <https://www.testgorilla.com/blog/matplotlib-in-python/> (дата звернення: 28.10.2023).
24. PyVista – PyVista 0.42.3 documentation. Redirecting to <https://docs.pyvista.org/version/stable/>. URL: <https://docs.pyvista.org/version/stable/> (дата звернення: 03.12.2023).
25. Nguyen Q. Hands-On application development with pycharm: accelerate your python applications using practical coding techniques in pycharm. Packt Publishing, Limited, 2019.
26. What is pycharm? Features, advantages & disadvantages. Hackr.io. URL: <https://hackr.io/blog/what-is-pycharm> (дата звернення: 28.10.2023).
27. Крячок О., Реуцький М., Сушко Д. До питання розрахунку характеристик спеціальних пристроїв з магнітною системою на основі постійних магнітів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. 2021. № 2(8). С. 77–82. URL: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2021.02.11> (дата звернення: 28.10.2023).
28. ТОП-5 причин розпаду стартапів – OlansGroup. URL: <https://www.olans.com.ua/top-5-prychyn-raspada-startapov> (дата звернення: 09.12.2023).
29. Бондарчук О.О., Крячок О.С., Моделювання параметрів системи намагнічування магнітотвердих матеріалів. Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики». м. Київ, 25–28 квіт. 2023 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. – Т. 2. – С. 176–177.

Додаток А

Моделювання параметрів системи намагнічування магнітотвердих
матеріалів

Публікації за темою роботи

Аркушів 5

Київ – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ НАУКОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИКИ

Матеріали XX Міжнародної
науково-практичної конференції
молодих вчених і студентів
*(присвячена 125-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського та 90-
річчю НН ІАТЕ (ТЕФ))*
м. Київ, 25–28 квітня 2023 року

ТОМ 2



Київ- 2023

До питання про моделювання параметрів системи намагнічування магнітотвердих матеріалів.	176
<i>БОНДАРЧУК О.О., магістрант гр. ТР-23мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Крячок О.С.</i>	
Визначення відновлених джерел енергії для забезпечення заданої території.	178
<i>ДЕМЧЕНКО О.Е., магістрант гр. ТР-23мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.е.н. Сегеда І.В.</i>	
Методи онлайн-тестування навчальних досягнень для інклюзивної освіти на основі веб-технологій.	180
<i>ЛАВРО О.М., магістрант гр. ТР-22мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Кублій Л.І.</i>	
Моделювання сонячної електростанції на даху будівлі навчального корпусу №8 КПІ ім. Ігоря Сікорського.	182
<i>ЛИТВИНЕНКО І.С., магістрант гр. ОТ-21мп</i>	
<i>Керівник - асист. Яценко О.І.</i>	
Програмно-апаратна система екстреного оцінювання серцево-судинної системи людини.	184
<i>ОНИЩЕНКО Н.Р., магістрант гр. ТР-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Крячок О.С.</i>	
Шаблони стратегічного предметно-орієнтованого проєктування програмного забезпечення .	186
<i>ПАСТЧНЮК А.О., магістрант гр. ТР-22мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Тихоход В.О.</i>	
Методи реалізації користувацьких інтерфейсів, які потребують мінімальних обчислювальних ресурсів.	188
<i>ПРАЧОВ В.С., магістрант гр. ТР-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Кублій Л.І.</i>	
Інтелектуальні методи автоматизованого тестування.	190
<i>СОСНОВЕНКО В.В., магістрант гр. ТР-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.е.н. Сегеда І.В.</i>	
Виявлення залежностей у вибірці повідомлень соціальних мереж на основі векторної відстані.	192
<i>СОФІЄНКО А.Ю., аспірант</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Шаповалова С.І.</i>	
Методи та засоби розпізнавання напряму погляду.	194
<i>ТИТОВ В.М., магістрант гр. ТР-21мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Шаповалова С.І.</i>	
Про особливості визначення предикторів стану здоров'я людини на базі діагностичних даних.	196
<i>ФУРМАНЧУК М.В., магістрант гр. ТР-23мп</i>	
<i>Керівник - доц., к.т.н. Крячок О.С.</i>	
Побудова воксельних об'єктів для оптимізації та мінімізації полігонів на основі жадібного алгоритму.	198
<i>ЧОРНИЙ В.О., магістрант гр. ТР-23мп</i>	
<i>Керівник - проф., д.т.н. Аушева Н.М.</i>	
Driver Behavior Recognition Based on Neural Networks Theory.	200
<i>SARAFANNIKOV O.V., master gr. ТР-11мп; OLIFENIEVA K.M., young scientist</i>	
<i>Scientific chief - prof., doc.eng.sc. Otrokh S.I.</i>	
Push notifications and securing push notifications in mobile apps.	202
<i>SNIZHKO P.S., master gr. ТВ-11</i>	
<i>Scientific chief - prof., doc.eng.sc. Shushura O.M.</i>	

УДК 004.4:537.8:519.8

Магістрант 1 курсу, гр. ТР-23мп Бондарчук О.О.

Доц., к.т.н. Крячок О.С.

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ НАМАГНІЧУВАННЯ МАГНІТОТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ

Математичне моделювання дає можливість досліджувати ті частини конструкції магнітної системи, вимірювання магнітного поля у яких вкрай ускладнено чи неможливе взагалі. Комп'ютерне моделювання дає можливість зменшити час аналізу поля у магнітній системі обраної конфігурації, підвищити точність, скоротити вартість як проектування, так і самої конструкції, тобто, математичне моделювання магнітної системи фактично є інструментом, що дозволяє чисельним шляхом зробити вибір оптимальних параметрів магнітної системи в кожному конкретному випадку [1].

Наразі існує чимало систем моделювання магнітних полів. Наприклад COMSOL Multiphysics – це програмне забезпечення, призначене для моделювання фізичних процесів і вивчення різних фізичних явищ, їх взаємозв'язку з навколишнім середовищем і між ними [2]. В тому числі ця програма містить в собі модуль для моделювання магнітних полів. Головною перевагою COMSOL Multiphysics є широкий набір інструментів для моделювання.

Також зручною системою для електромагнітного моделювання є Faraday's Electromagnetic Lab. Це програмне забезпечення створено для допомоги у вивченні електромагнітних законів Фарадея за допомогою різноманітних симуляцій [3]. Перевагами цієї системи є її зручність, простота, а також те, що вона безкоштовна. В якості недоліка виступає доволі малий набір інструментів моделювання. Також необхідно відмітити відсутність в описі цих застосунків будь-яких математичних моделей та рівнянь.

Таким чином, метою даної роботи є створення сучасної платформи для моделювання параметрів системи намагнічування магнітотвердих матеріалів із заданими конструктивними особливостями. При розробці розрахункового алгоритму в основу покладено математичну модель (1), що приведена в роботі [4].

$$\sigma_N + \frac{\lambda}{2\pi} \int_{S_N} \sigma_N \frac{\vec{R}_{QN} n}{R_{QN}^3} dS = - \frac{\lambda \mu}{2\pi} \int_{V_M} \left[\vec{\delta}(M) \frac{\vec{R}_{QM}}{R_{QM}^3} \right] n dV, \quad (1)$$

де $\lambda = \frac{\mu_- - \mu_+}{\mu_- + \mu_+}$; $\sigma_N / \mu = H_{n+}'' - H_{n-}''$; $\vec{R}_{QN,M}$ – вектор відстані між точкою

спостереження поля Q та точками, в яких знаходяться джерела поля N, M .

Дані для моделювання будуть заноситися до програми вручну або за допомогою імпорту json файлу. Також для зручності та інформативності в програмі буде наведено інформацію про використану математичну модель. На рис. 1 показано приклад графічного результату моделювання.

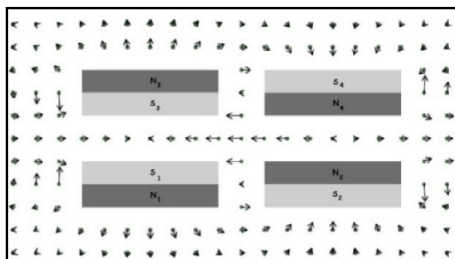


Рисунок 1 - Приклад графічного результату моделювання

Для розробки платформи обрано мову програмування Python з наступними бібліотеками: Magpylib, PyCharge, NumPy, Matplotlib та інші [5]. Перевагами Python є наступні:

- гнучкість;
- можливість розширення;
- простота синтаксису та інтерпретованість;
- наявність великої кількості модулів, які забезпечують різноманітні додаткові можливості.

Також буде використано фреймворк PyQt6, що призначений для створення багатоплатформних додатків із графічним інтерфейсом за допомогою інструментарію Qt [6]. Середовищем для розробки графічної складової програми було обрано Qt Designer – це багатоплатформне середовище для розробки графічних інтерфейсів програм, які використовують бібліотеку Qt [7], а для створення програмного коду – інтегроване середовище розробки PyCharm [8]. Для збереження результатів моделювання буде використано базу даних MySQL, що пришвидшить роботу з певними обраними моделями. Було обрано саме MySQL за її розповсюдженість, наявність безлічі функцій, вона характеризується стійкістю, великою швидкістю та простотою використання, була розроблена для підвищення швидкодії обробки великих баз даних. [9].

Висновки. Запропонована платформа може бути корисною для знаходження картини розподілу магнітного поля системи складної конфігурації. Такий підхід до вибору методів, засобів та технологій розробки програмного забезпечення створює передумови для зменшення витрат та скорочення термінів його проектування.

Перелік посилань:

1. E.P. Zhidkov. Computer modeling of magnet systems for physical setups /. Computer Research and Modeling. 2009. Т. 1, № 2. С. 189–198. URL: <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2009-1-2-189-198> (дата звернення: 15.03.2023).
2. Перов О. Моделювання магнітних полів котушок та енергії між ними. ЛОГОС. ОНЛАЙН. 2020. № 9. URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2663-4139/article/view/2791> (дата звернення: 15.03.2023).
3. 4 Best Free Electromagnetic Simulation Software For Windows. List Of Freeware – List of Best Free Software. URL: <https://listoffreeware.com/free-electromagnetic-simulation-software-windows/> (дата звернення: 15.03.2023).
4. О.С. Крячок. Моделювання геометрії магнітного поля в задачах проектування високоточних виконуючих пристроїв. Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2020. № 97. С. 75–81. URL: <https://doi.org/10.32347/0131-579x.2020.97.75-81> (дата звернення: 15.03.2023).
5. 3.11.2 Documentation. URL: <https://docs.python.org/3> (дата звернення: 15.03.2023).
6. Reference guide – pyqt documentation v6.4.1. Riverbank Computing | News. URL: <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt6> (дата звернення: 15.03.2023).
7. Qt designer manual. Qt Documentation | Home. URL: <https://doc.qt.io/qt-6/qt designer-manual.html> (дата звернення: 15.03.2023).
8. Quick documentation. JetBrains: Essential tools for software developers and teams. URL: <https://www.jetbrains.com/pycharm/guide/tips/quick-docs> (дата звернення: 15.03.2023).
9. 6 best databases to use in 2023 - learn | hevo. Learn | Hevo. URL: <https://hevodata.com/learn/best-database> (дата звернення: 15.03.2023).