

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Фізичних основ електронної техніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
СТВОРЕННЯ ВІРТУАЛЬНОГО СТЕНДУ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ

тема)

Виконав:

здобувач 4 року навчання,
групи МТІОЛСу-22-1

Ігор ЛЕБЕДЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма «Інженерія
оптоінформаційних та лазерних систем»

(повна назва освітньої програми)

Керівник зав. каф. ФОЕТ Олександр ГНАТЕНКО

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри ФОЕТ

(підпис)

Олександр ГНАТЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії

Кафедра Фізичних основ електронної техніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма «Інженерія оптикоінформаційних та лазерних систем»
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Лебеденку Ігорю Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Створення віртуального стенду оптичної системи

затверджена наказом університету від «23» травня 2025 р. № 409 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 15 липня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи тип лазера: гелій-неоновий (He-Ne); довжина хвилі: 632,8 нм, квантова ефективність: $\eta = 0,2$; діапазон струму: від 0 мА до 3600 мА; оптичні елементи: двояко-опукла лінза, двояко-увігнута лінза, плоско-опукла лінза, плоско-увігнута лінза, увігнуто-опукла лінза (меніскова); телескопічна система Галілея.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 1 Теоретичні основи побудови віртуального стенду оптичної системи. 2 Реалізація віртуального стенду оптичної системи. 3 Функціональні можливості віртуального стенду та результати його роботи.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів,

комп'ютерних ілюстрацій _____

Лістинг програмного коду -3 арк.

Демонстраційний матеріал – 10 слайдів.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Інформаційно-тематичний пошук та огляд літературних джерел про віртуальні стенди та їх види	06.05.25–21.05.25	Виконано
2	Виконання чисельних розрахунків He-Ne лазера	22.05.25–30.05.25	Виконано
3	Розробка віртуального стенду оптичної системи	02.06.25–11.06.25	Виконано
4	Додавання оптичних елементів	12.06.25–17.06.25	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	18.06.25–27.06.25	Виконано
6	Оформлення демонстраційних матеріалів	28.06.25–02.07.25	Виконано
7	Проходження нормоконтролю та перевірки на академічний плагіат	03.07.25–11.07.25	Виконано
8	Отримання відгуку та рецензії	12.07.25–13.07.25	Виконано
9	Підготовка та захист кваліфікаційної роботи	14.07.25–16.07.25	

Дата видачі завдання 05 травня 2025 р.

Здобувач _____
(підпис)

Керівник роботи _____ зав. каф. каф. ФОЕТ Олександр ГНАТЕНКО
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 33 с., 13 рис., 2 табл.,
2 додатки, 12 джерел.

ВІРТУАЛЬНИЙ СТЕНД, ОПТИЧНА СИСТЕМА, ОПТИЧНИЙ
ЕЛЕМЕНТ, НЕ-NE ЛАЗЕР, PYTHON.

Мета роботи – розробка віртуального стенду оптичної системи для дослідження ходу лазерного променя в середовищі з різними оптичними елементами.

Об'єкт дослідження – оптична система з лазерним випромінюванням.

Метод дослідження – методи віртуального моделювання оптичних систем у середовищі Python.

Наукова новизна полягає в створенні інтерактивного віртуального стенду, що дозволяє візуалізувати зміну траєкторії лазерного променя залежно від типу та положення оптичних елементів, без використання реального лабораторного обладнання.

Практичне значення роботи полягає у створенні навчального інструменту, який може бути використаний у вищій освіті для демонстрації оптичних явищ, а також у дистанційному навчанні без втрати якості сприйняття фізичних процесів.

Для досягнення мети в роботі було поставлено такі завдання:

1. Проаналізувати сучасні підходи до створення віртуальних лабораторних стендів.
2. Обґрунтувати вибір мови програмування та середовища розробки.
3. Реалізувати програмну модель поширення лазерного променя через оптичну систему.
4. Забезпечити графічний інтерфейс користувача для інтерактивної взаємодії.
5. Провести тестування та демонстрацію роботи віртуального стенду на прикладі системи з He-Ne лазером і типовими лінзами.

ABSTRACT

Explanatory note to the qualification work: 33 pages, 13 figures, 2 tables, 2 appendices, 12 sources.

HE-NE LASER, OPTICAL ELEMENT, OPTICAL SYSTEM, PYTHON, VIRTUAL STAND.

The purpose of the work is to develop a virtual stand of an optical system for studying the path of a laser beam in an environment with various optical elements.

The object of research is an optical system with laser radiation.

The subject of research is methods of virtual modeling of optical systems in the Python environment.

The scientific novelty lies in the creation of an interactive virtual stand that allows visualizing the change in the trajectory of a laser beam depending on the type and position of optical elements, without using real laboratory equipment.

The practical significance of the work lies in the creation of a teaching tool that can be used in higher education to demonstrate optical phenomena, as well as in distance learning without losing the quality of perception of physical processes.

To achieve this goal, the following tasks were set in the work:

1. Analyze modern approaches to the creation of virtual laboratory stands.
2. Justify the choice of programming language and development environment.
3. Implement a software model of laser beam propagation through an optical system.
4. Provide a graphical user interface for interactive interaction.
5. Test and demonstrate the operation of the virtual stand using the example of a system with a He-Ne laser and typical lenses.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Теоретичні основи побудови віртуального стенду оптичної системи	8
1.1 Поняття та класифікація віртуальних лабораторних стендів	8
1.2 Основи геометричної оптики, необхідні для моделювання	8
1.3 Структура типового оптичного стенду	9
1.4 Особливості використання He-Ne лазера у віртуальних стендах	10
1.5 Огляд інструментальних засобів для створення віртуальних оптичних моделей.....	10
1.5.1 Спеціалізовані програмні комплекси.....	10
1.5.2 Універсальні середовища з графікою	11
1.6 Висновки до розділу 1.	12
2 Реалізація віртуального стенду оптичної системи	14
2.1 Принцип побудови та елементи віртуального стенду.....	14
2.2 Модель регулювання струму у віртуальному стенді	14
2.3. Оптичні елементи у віртуальному стенді.....	15
2.4 Програмна реалізація моделі оптичної системи	22
2.4.1 Вибір платформи.....	23
2.4.2 Реалізовані елементи.....	23
2.4.3 Алгоритм побудови.....	24
2.4.4 Практичне застосування в освітньому процесі.....	24
2.5 Висновки до розділу 2	25
3 Функціональні можливості віртуального стенду та результати його роботи	26
3.1 Інтерфейс та можливості користувача.....	26
3.2 Демонстрація результатів роботи стенду та опис користування програмою.....	27
3.3 Висновки до розділу 3	29
Висновки	31
Перелік джерел посилання	32
Додаток А Лістинг програмного коду	34
Додаток Б Демонстраційний матеріал	37

ВСТУП

У сучасних умовах цифровізації освіти та наукових досліджень зростає потреба у використанні віртуальних стендів для демонстрації та аналізу фізичних процесів, зокрема в галузі оптики та лазерних технологій. Віртуальні випробувальні системи особливо актуальні в тих випадках, коли натурні експерименти є складними, небезпечними, затратними або просто неможливими. Вони дозволяють моделювати поведінку складних технічних об'єктів, змінювати параметри системи у реальному часі та візуалізувати результати в інтерактивному середовищі.

Створення віртуального оптичного стенду відкриває нові можливості для навчання, тренування персоналу та проведення досліджень без потреби у фізичному обладнанні. Завдяки використанню онлайн-візуалізації та інтерактивних елементів, користувач отримує змогу керувати параметрами оптичної системи, спостерігати зміну променя під дією лінз та дзеркал, аналізувати результат з високою точністю симуляції.

У даній роботі було обрано платформу для моделювання на базі мови програмування Python із графічною бібліотекою Tkinter та модулями Image і ImageTk, що дозволило реалізувати простий, але функціональний 2D-віртуальний стенд. Як середовище розробки обрано Visual Studio — потужну IDE, яка забезпечує зручність кодування та налагодження.

До складу віртуального стенду включено лазер He-Ne з довжиною хвилі 632,8 нм, а також базові типи лінз: двояковипукла, двояковгнута, плосковипукла, плосковгнута, меніскова (увігнуто-опукла), а також система Галілея, утворена поєднанням двояковипуклої та двояковгнутої лінз. Користувач має можливість змінювати конфігурацію оптичної системи та спостерігати зміну ходу променя, що забезпечує інтерактивність і наочність моделювання.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ВІРТУАЛЬНОГО СТЕНДУ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ

1.1 Поняття та класифікація віртуальних лабораторних стендів

Віртуальні лабораторні стенди – це програмно-апаратні або повністю програмні засоби, призначені для імітації експериментальних досліджень без фізичного втручання у реальне обладнання [1]. Їх основне завдання полягає у створенні інтерфейсу, який дозволяє змінювати параметри моделі в режимі реального часу, спостерігати за змінами та отримувати результати на основі обчислень відповідно до фізичних законів.

За функціональністю та рівнем складності віртуальні стенди поділяються на:

- інформаційно-візуалізаційні (призначені лише для демонстрації явища);
- інтерактивні (користувач може змінювати параметри системи);
- інтелектуалізовані (з елементами автоматичного аналізу або адаптації параметрів) [2].

Переваги використання віртуальних стендів: зниження вартості лабораторного обладнання, безпечне середовище для навчання, можливість повторення експериментів у змінених умовах, доступ до симуляцій 24/7 з будь-якого пристрою [2].

1.2 Основи геометричної оптики, необхідні для моделювання

Для побудови віртуального стенду з лазерною оптичною системою необхідно враховувати базові принципи геометричної оптики, які лягають в основу моделі променя:

- 1) принцип прямолінійного поширення світла – у однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно;
- 2) закон заломлення (закон Снеліуса):

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2,$$

де n_1, n_2 – показники заломлення середовищ;

θ_1, θ_2 – кути падіння та заломлення.

3) побудова зображення в лінзах – з урахуванням фокусної відстані f для тонких лінз [3]:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_0} + \frac{1}{d_i},$$

де d_0 – відстань до об'єкта;

d_i – відстань до зображення.

У віртуальному моделюванні використовується трасування променів – визначення траєкторії світла, відбиття та заломлення на межах оптичних елементів. Це забезпечує наочне представлення реальних оптичних процесів.

1.3 Структура типового оптичного стенду

Типова модель оптичного стенду складається з таких елементів:

- джерело випромінювання – у даній роботі He-Ne лазер ($\lambda = 632,8$ нм) [4];
- оптичні елементи:
 - лінзи: двояковипуклі, двояковгнуті, плоско-випуклі, плоско-вгнуті, меніскові;
 - дзеркала – для зміни напрямку променя;
 - екран або приймальний пристрій – для візуалізації ходу променів;
 - механізм взаємодії: інтерфейс для зміни положення елементів та їхніх параметрів (фокусна відстань, матеріал, положення на сцені).

1.4 Особливості використання He-Ne лазера у віртуальних стендах

Гелій-неоновий лазер (He-Ne) є одним із найпоширеніших джерел монохроматичного світла для лабораторних експериментів [5]. Його характеристики:

- довжина хвилі: 632,8 нм (червона частина спектра);
- висока стабільність і когерентність випромінювання;
- низька потужність, що робить його безпечним для освітніх моделей.

Ці властивості роблять He-Ne лазер ідеальним для моделювання основ оптики, включно з фокусуванням, заломленням і дифракцією.

1.5 Огляд інструментальних засобів для створення віртуальних оптичних моделей

Розробка віртуальних моделей оптичних систем потребує вибору відповідного середовища програмування, яке здатне забезпечити інтерактивну графіку, обробку подій, точні обчислення та масштабованість. Існує низка підходів до реалізації таких моделей – від спеціалізованих оптичних симуляторів до універсальних мов програмування із графічними бібліотеками.

1.5.1 Спеціалізовані програмні комплекси

Для моделювання реальних систем ідеально підходять спеціалізовані програмні комплекси:

- OpticStudio (Zemax) – комерційне програмне забезпечення для трасування променів, оптимізації оптичних систем, аналізу аберацій. Має потужний візуалізатор, але не призначене для інтерактивних симуляцій із користувачем в освітньому форматі [6];

– LightTools, TracePro, Code V – застосовуються в промисловому та науковому проектуванні, мають високу точність, але потребують значного навчання і не є відкритими.

Ці середовища не завжди є придатними для створення простих, інтерактивних та безкоштовних навчальних стендів.

1.5.2 Універсальні середовища з графікою

1. Python: є однією з найпопулярніших мов для наукового моделювання, завдяки доступності, простоті та величезному екосистемі бібліотек та можливості підключення додаткових.

Для створення віртуального оптичного стенду використовується:

– Tkinter – стандартна бібліотека для створення GUI, містить об'єкт Canvas для 2D-графіки;

– Pillow (PIL) – для обробки зображень;

– NumPy, math – для обчислень.

Переваги: безкоштовне, кросплатформене рішення, активна спільнота, гнучкість.

Недоліки: обмежена 3D-графіка, порівняно повільна візуалізація для складних сцен.

2. MATLAB – потужне середовище з вбудованими функціями для обробки сигналів, побудови графіків, симуляцій. Має інструмент Simulink для блокового моделювання:

– використовується в освіті, але має обмеження в інтерактивності й складний GUI для складних візуалізацій–

– мінус – комерційна ліцензія.

3. Unity + C# – ігровий рушій, який також використовується для моделювання фізичних процесів. Підтримує 3D-графіку, VR/AR, фізику.

Переваги: висока реалістичність, можливість кросплатформного поширення, 3D-візуалізація.

Недоліки: вища складність розробки, потреба в навичках програмування мовою C#, довший цикл створення моделей.

4. JavaScript + WebGL / p5.js:

- дає змогу створювати віртуальні лабораторії прямо у веб-браузері;
- дає змогу реалізовувати візуалізацію без інсталяцій;
- підходить для онлайн-освіти, проте складніше реалізовувати точні фізичні обчислення.

В таблиці 1.1 показано порівняння середовищ.

Таблиця 1.1 Таблиця порівняння середовищ

Середовище	Переваги	Недоліки	Доступність
Python (Tkinter)	Проста реалізація GUI, безкоштовне	Обмежена графіка	+
MATLAB	Вбудовані функції моделювання	Комерційна ліцензія, важке GUI	–
Unity	Потужна графіка, 3D, VR	Складне розгортання, потреба в досвіді	–
JavaScript+ WebGL	Працює у браузері, кросплатформність	Складно моделювати фізику	+
OpticStudio	Висока точність	Немає інтерактивності, дорогий	–

1.6 Висновки до розділу 1

Правильно сформульовані вимоги до функціоналу віртуального стенду дозволяють створити програмну систему, яка відповідає освітнім потребам, забезпечує точне відтворення фізичних процесів та гарантує зручність і гнучкість у використанні. Їх дотримання є необхідною умовою для успішної реалізації та подальшого впровадження в навчальний процес.

Окрему увагу приділено аналізу інструментальних засобів для реалізації такого стенду. Порівняння спеціалізованих програмних комплексів із універсальними мовами програмування засвідчує важливість балансу між точністю фізичного моделювання, доступністю середовища, зручністю GUI та можливістю адаптації під навчальні цілі. Особливо виділяється Python як

ефективний варіант для створення візуально простих, але функціонально гнучких моделей.

Загалом, визначення теоретичних засад, оптичної бази у ролі He-Ne лазера та програмного інструментарію утворюють комплексний методичний базу, що слугує основою для подальшої розвитку віртуального стенду і цього проекту в цілому. Це забезпечує не лише технічну повноцінність, а й педагогічну цінність моделі, адаптованої до сучасних вимог цифрової освіти.

2 РЕАЛІЗАЦІЯ ВІРТУАЛЬНОГО СТЕНДУ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Принцип побудови та елементи віртуального стенду

У віртуальному стенді як джерело випромінювання використано гелій-неоновий (He-Ne) лазер – типовий представник газових лазерів, що генерує когерентне випромінювання на довжині хвилі 632,8 нм [7]. Активне середовище – суміш гелію та неону у співвідношенні 10:1. Збудження досягається за допомогою електричного розряду, який переводить атоми гелію у метастабільні стани. Резонансне зіткнення з атомами неону призводить до інверсії населеності, необхідної для лазерної генерації.

2.2 Модель регулювання струму у віртуальному стенді

Для моделювання впливу струму на оптичну потужність реалізовано обертання потенціометра, що змінює струм у діапазоні від 0 мА до 3600 мА (по 10 мА на кожен градус обертання). Потужність P випромінювання визначається за формулою:

$$P = \frac{h \cdot \nu \cdot I}{e} \cdot \eta, \quad (2.1)$$

де h – стала Планка;

ν – частота випромінювання;

I – електричний струм;

e – заряд електрона;

η – квантова ефективність (у моделі прийнято 0,2) [8].

Графік на рисунку 2.1 демонструє майже лінійну залежність оптичної потужності гелій-неонового лазера від прикладеного струму. Така поведінка типова для газових лазерів при сталому квантовому виході. Спостерігається пропорційне зростання потужності з приростом струму від 0 мВт при 0 мА до приблизно 1,41 мВт при 3600 мА. Це відповідає формулі 2.1.

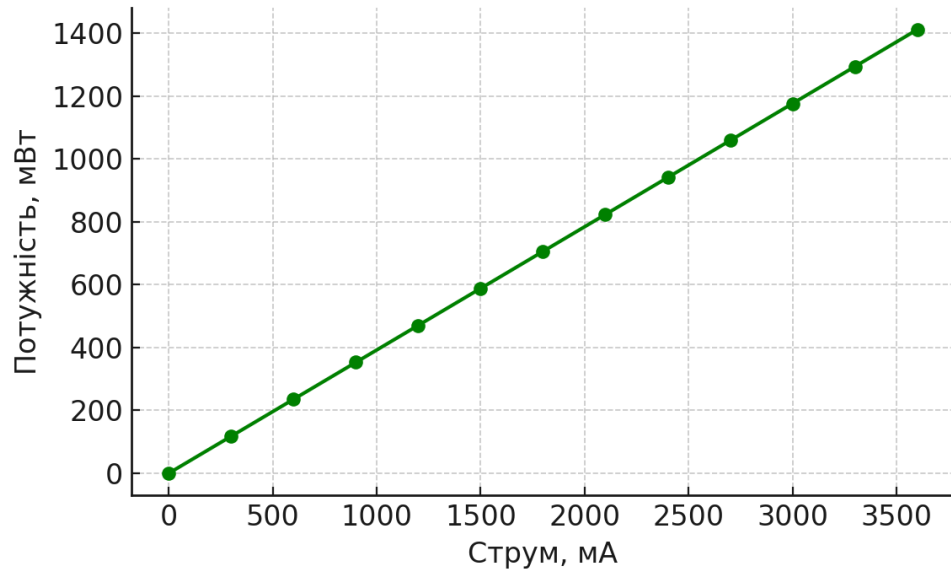


Рисунок 2.1 – Залежність потужності He-Ne лазера від струму

2.3 Оптичні елементи у віртуальному стенді

Віртуальний стенд реалізує роботу основних елементів геометричної оптики. Особливу увагу приділено лінзам різних типів, які застосовуються для фокусування, розсіювання або трансформації світлових пучків.

Плоско-увігнута лінза має одну плоску поверхню, а інша – увігнута. Такий тип лінзи застосовується для розширення пучка або створення розбіжного випромінювання.

Двоє опукла лінза – фокусує паралельні промені в точку фокуса. Це класична збиральна лінза, яка має дві сферично опуклі поверхні (рис. 2.2). Вона фокусує паралельні промені у реальну фокусну точку.

Фокусна відстань обчислюється за формулою тонкої лінзи:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), R_1 > 0, R_2 < 0,$$

$$\rightarrow \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{|R|} \right) = 2(n - 1) \cdot \frac{1}{R},$$

де n – показник заломлення матеріалу лінзи;

$R_1 > 0, R_2 < 0$ – радіуси кривизни поверхонь (опуклість вперед).

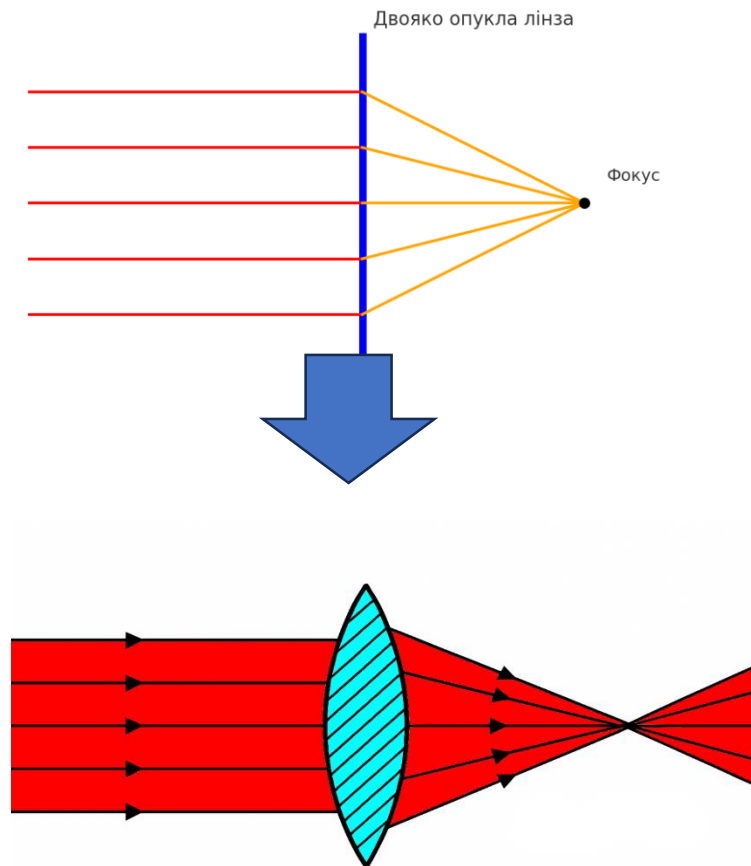


Рисунок 2.2 – Двояко-опукла лінза

Застосування: в проєкційних системах, таких як об'єктиви мікроскопи, телескопи, камери [9, 10].

Двояко увігнута лінза – розсіює паралельні промені, формуючи уявний фокус (рис. 2.3). Це симетрична лінза з двома сферично увігнутими поверхнями. Вона завжди є розсіювальною, незалежно від матеріалу.

Формула фокусної відстані:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), R_1 < 0, R_2 > 0,$$

$$\rightarrow \frac{1}{f} = (n - 1) \left(-\frac{1}{|R_1|} - \frac{1}{|R_2|} \right) \rightarrow f < 0,$$

де $R_1 < 0$, $R_2 > 0$, тому $f < 0$.

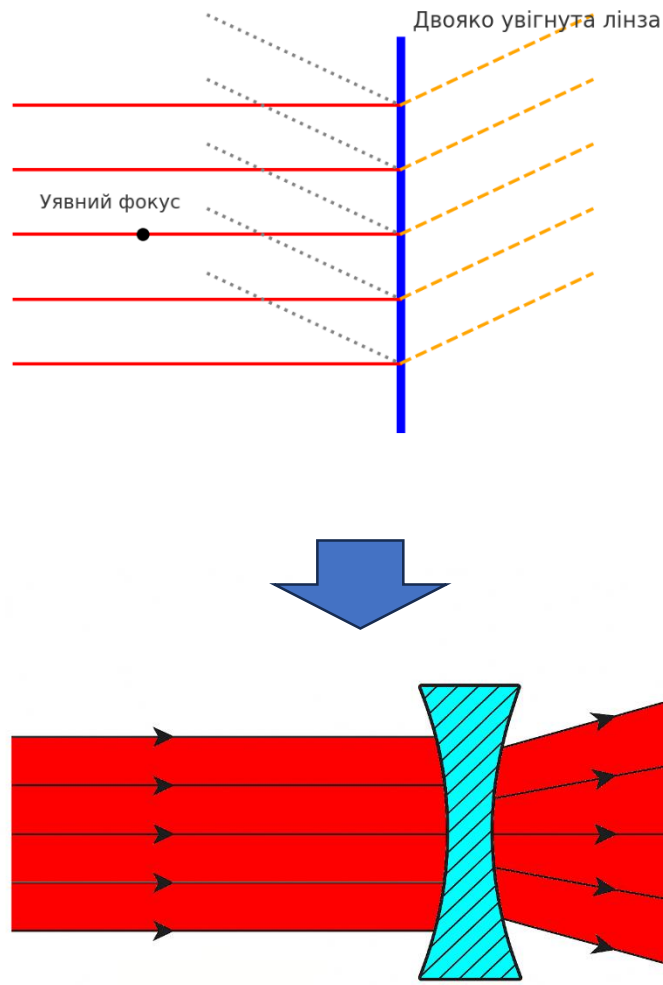


Рисунок 2.3 – Двояко-увігнута лінза

Застосування: меншення діаметру променя (у поєднанні з іншими лінзами); формування розбіжного пучка в оптичних прицілах, сканерах.

Плоско-опукла лінза має одну плоску поверхню та одну опуклу. Вона є збиральною і призначена для фокусування паралельних променів у реальну фокусну точку (рис. 2.4). Оптимальне фокусування досягається, коли паралельні промені входять через опуклу поверхню, а виходять через плоску. Промені заломлюються на сферичній поверхні та зводяться в точку фокусу. Плоска поверхня не викривлює промені.

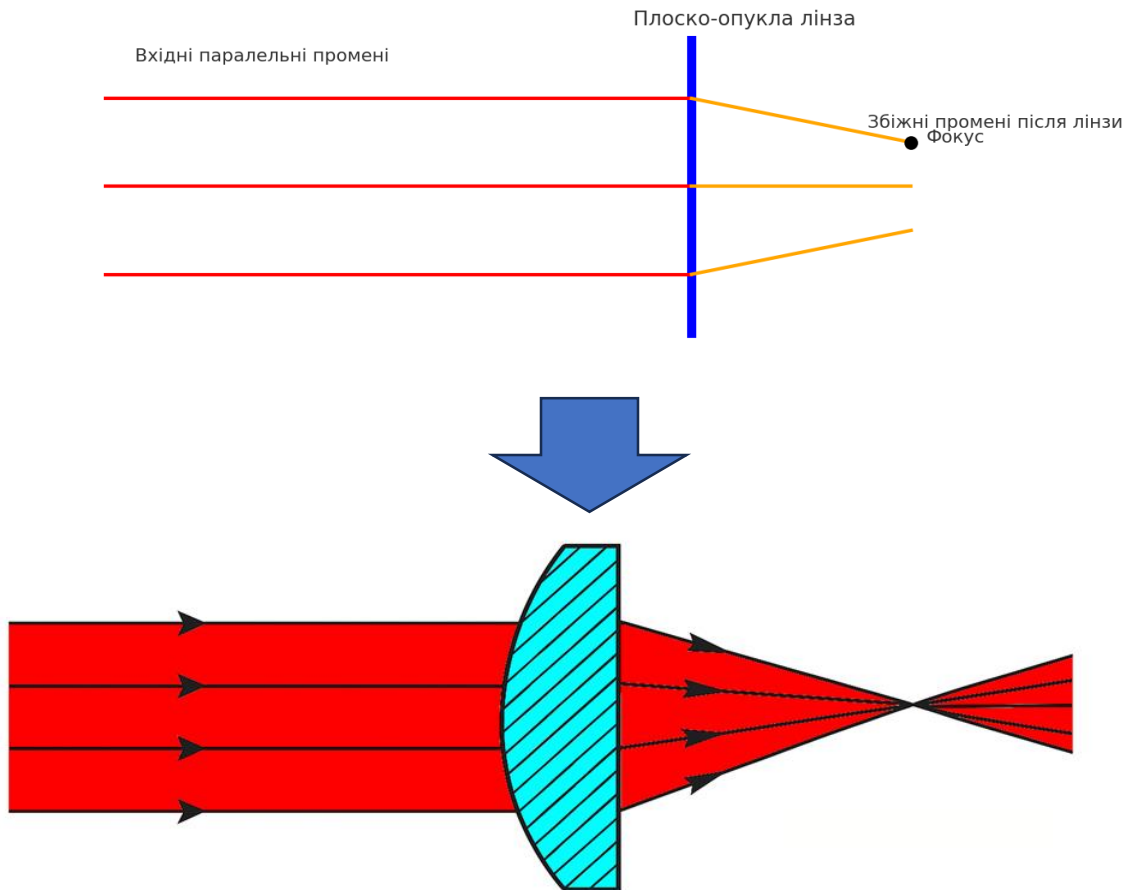


Рисунок 2.4 – Плоско-опукла лінза

Застосування: колімація лазерного випромінювання; оптичні передавачі та приймачі; об'єктиви освітлювальних систем.

Переваги: простота виготовлення; менші сферичні аберації при правильному напрямку променя.

Формула фокусної відстані:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\infty} \right) = \frac{n-1}{R}, R > 0.$$

Плоско-увігнута лінза має одну плоску і одну увігнуту поверхню (рис. 2.5). Вона є розсіювальною, тобто змушує паралельні промені, що падають на неї, розходитися після заломлення. Уявне зображення фокусу формується позаду лінзи – у напрямку, звідки падає світло.

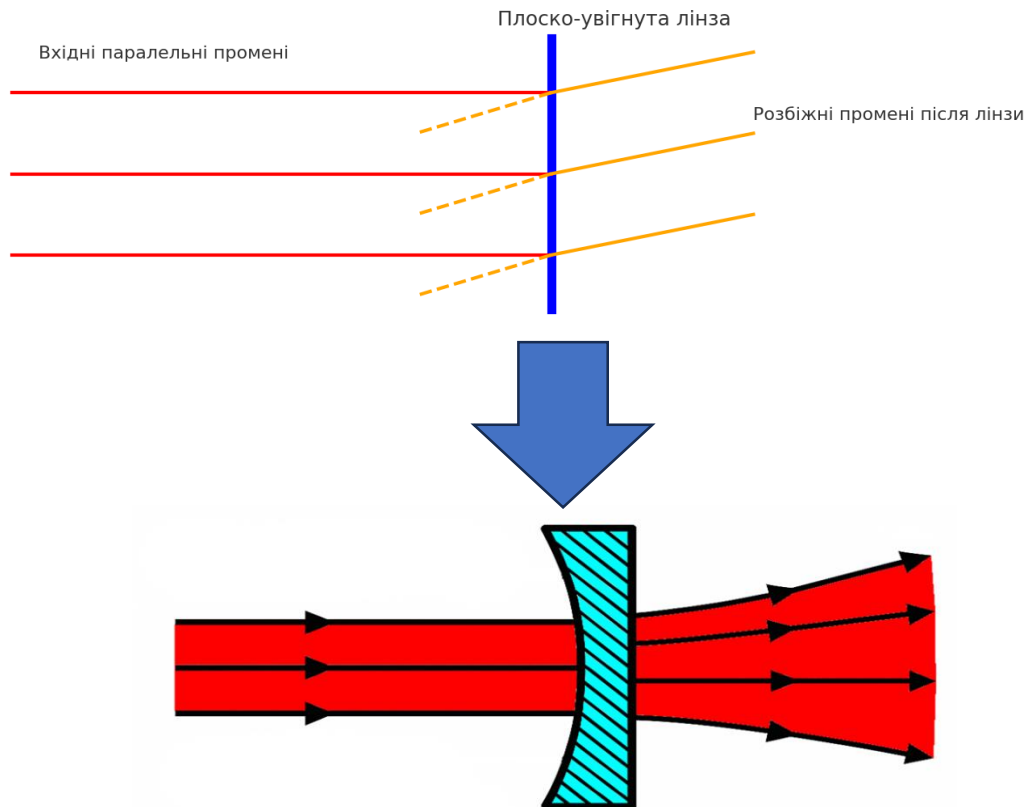


Рисунок 2.5 – Плоско-увігнута лінза

Лінза розсіює паралельні промені, які здаються такими, що вийшли з уявної точки фокусу позаду лінзи. Плоска поверхня не викривлює промені.

Формула фокусної відстан [11]:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{R} \right) = -\frac{n-1}{R}, R > 0.$$

Застосування: формування розбіжних пучків у лазерній оптиці; розширення променя в телескопічних системах; оптичні сканери та дефокусувальні системи.

Особливості: використовується там, де потрібен контроль над розбіжністю пучка; легше виготовляється, ніж двояко-увігнута.

Меніскова лінза – це тонка лінза, яка має одну опуклу, а іншу – увігнуту поверхню. Якщо опуклість більша, така лінза діє як збиральна. Завдяки своїй

геометрії, вона може зменшити сферичну аберацію та поліпшити якість зображення в складних оптичних системах (рис. 2.6).

Паралельні промені, що входять через опуклу поверхню, заломлюються та сходяться у фокусній точці. Увігнута поверхня зменшує надлишкову кривизну, знижуючи аберацію.

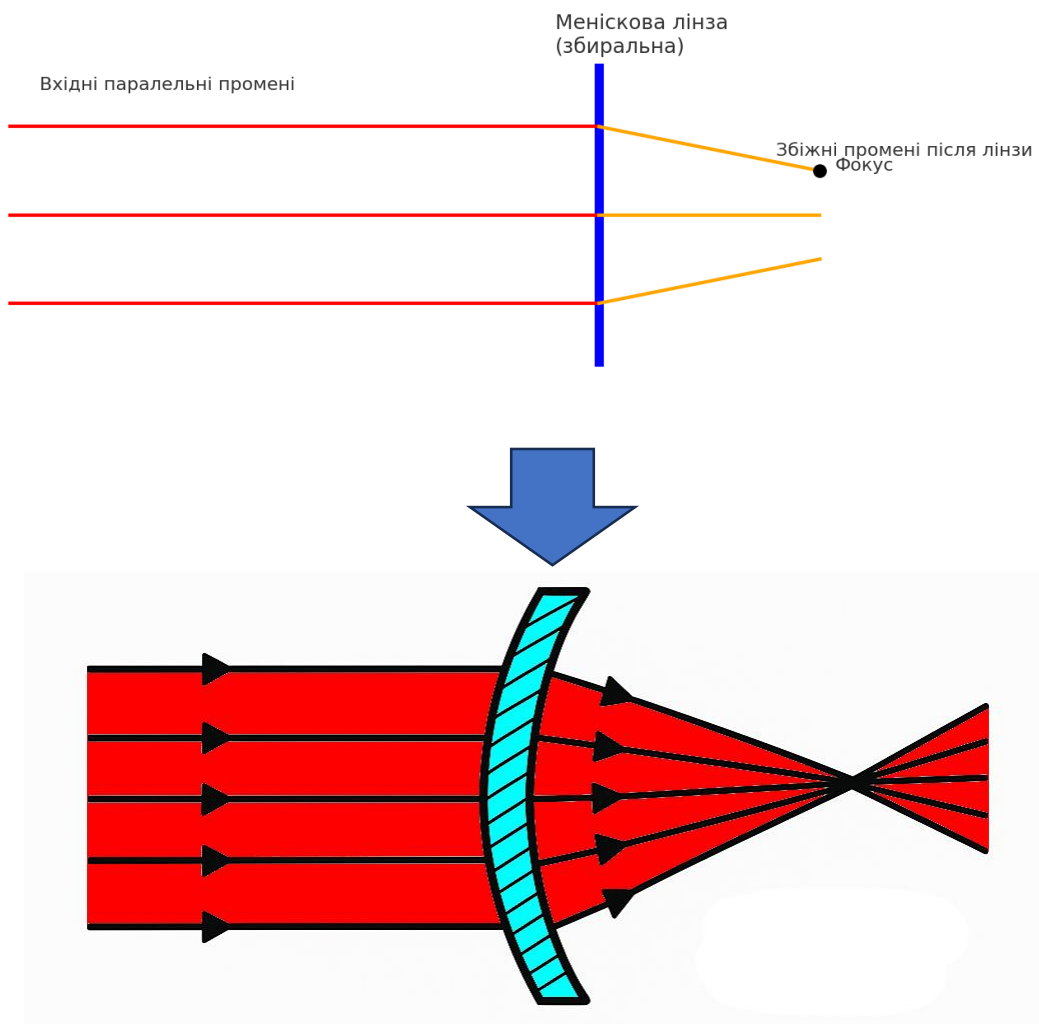


Рисунок 2.6 – Увігнуто-опукла лінза (меніскова)

Формула фокусної відстані:

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), R_1 > 0, R_2 < 0,$$

$$\rightarrow \frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{|R_2|} \right),$$

де R_1 – радіус кривизни опуклої поверхні;

R_2 – увігнутої (з протилежного боку);

n – показник заломлення матеріалу.

Застосування: в оптичних прицілах та телескопах; у фотооб'єктивах (для компенсації абераций); у системах зі збірним зображенням з короткою довжиною тракту [12].

Особливості: можна досягнути меншої фокусної відстані без втрати якості; добре працює в поєднанні з іншими лінзами.

Телескоп Галілея – це одна з найпростіших афокальних оптичних систем. Вона складається з двох лінз різного типу: збиральної (опуклої) об'єктивної лінзи з довгою фокусною відстанню; розсіювальної (увігнутої) лінзи з короткою фокусною відстанню, що використовується як окуляр. Об'єктив формує сходження променів, а окуляр так заломлює їх, що в оці спостерігача вони знову утворюють паралельний пучок (рис. 2.7). При цьому зображення залишається прямим, на відміну від телескопа Кеплера, де воно перевертається.

Формула збільшення телескопа Галілея:

$$M = - \frac{f_{\text{об'єктива}}}{f_{\text{окуляра}}},$$

де $f_{\text{об'єктива}} > 0$ – фокусна відстань збиральної лінзи;

$f_{\text{окуляра}} < 0$ – фокусна відстань розсіювальної лінзи;

знак «мінус» означає, що зображення не перевертається.

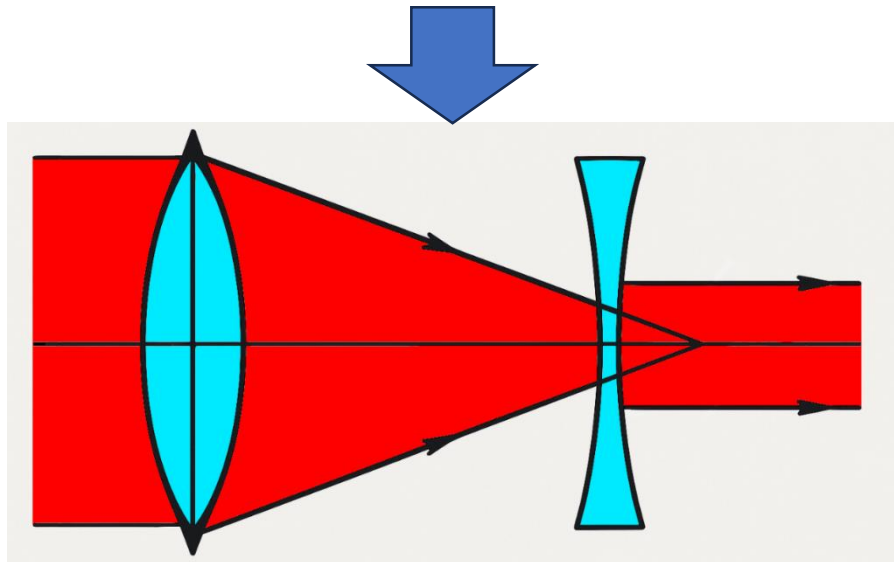
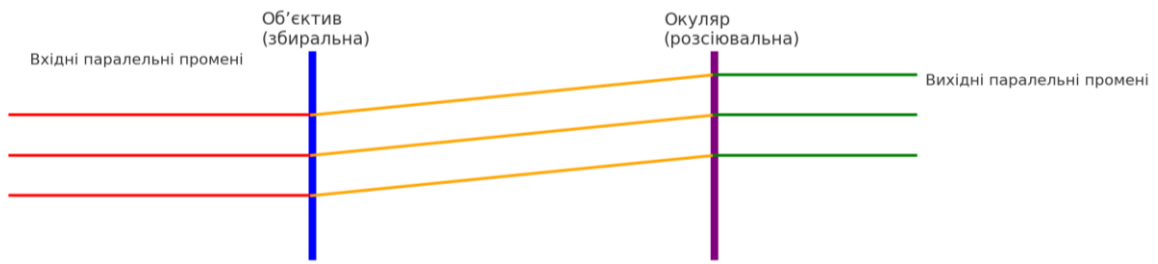


Рисунок 2.7 – Телескопічна система Галілея

Переваги: компактність; пряме зображення (не потребує додаткових інверсійних призм); простота конструкції.

Недоліки: вузьке поле зору; важко досягти великого збільшення.

Застосування: початкові астрономічні спостереження; оптичні приціли та театральні біноклі; системи віртуального моделювання.

2.4 Програмна реалізація моделі оптичної системи

У цьому підрозділі розглянемо способи побудови віртуального стенду оптичної системи за допомогою комп'ютерного моделювання. Цифрове відтворення дозволяє експериментувати з розташуванням елементів.

2.4.1 Вибір платформи

Для реалізації моделі було обрано платформу Microsoft Visual Studio. Вона забезпечує формування зображень та взаємодію з користувачем у реальному часі.

Саме тому був обраний Python для розробки симулятора на базі Python (бібліотеки matplotlib + PyOptics) або tkinter – ці бібліотеки надають більшу гнучкість, але потребують програмування.

З усіх бібліотек була обрана tkinter. У цій бібліотеці є необхідні нам функції для взаємодії користувача з програмою: Image та ImageTk.

За допомогою цієї бібліотеки ми маємо можливість виводити заздалегідь підготовлені зображення і взаємодіяти з ними будь-яким способом (натискання, обертання).

2.4.2 Реалізовані елементи

У віртуальному стенді відтворено такі об'єкти (рис. 2.8):

Джерело світла – паралельний пучок (імітація лазера);

Лінзи різних типів – реалізовані як об'єкти з якими ми можемо взаємодіяти через натискання;

Лічильник потужності лазера – у вигляді цифрового показника;

Інтерактивна кнопка «вихід» для зручності використання програми.

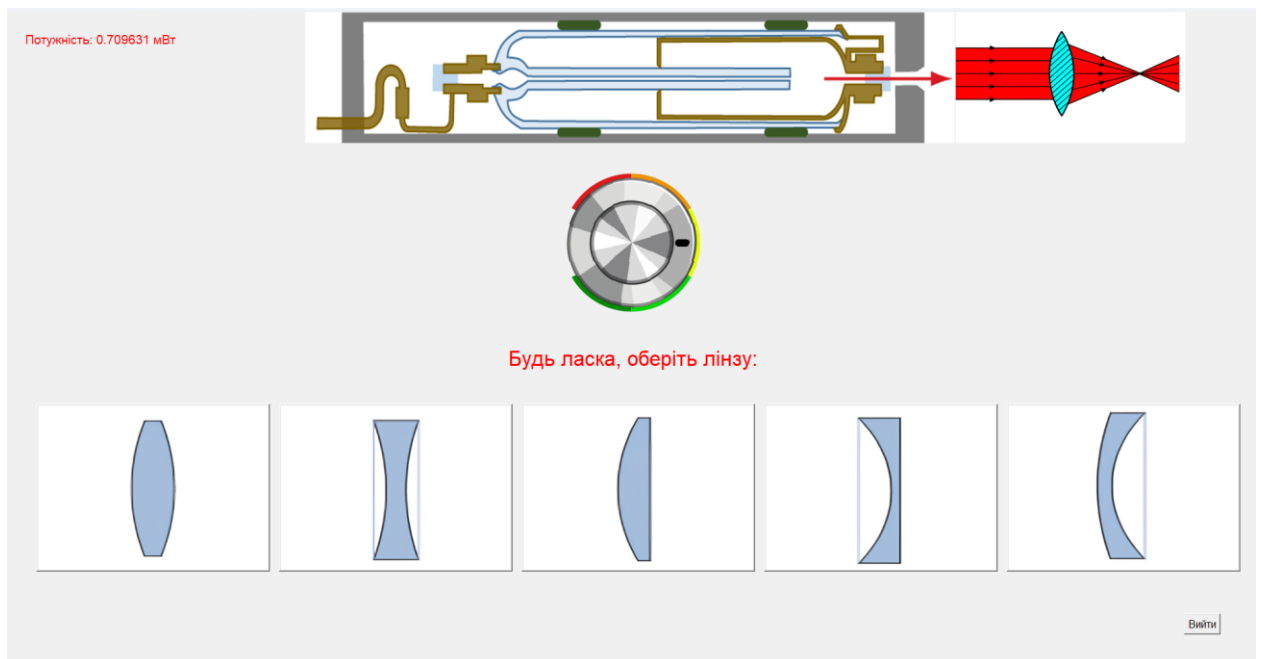


Рисунок 2.8 – Скріншот програмної симуляції з розміщенням лінзи та інформацією про потужність лазера

2.4.3 Алгоритм побудови

Алгоритм реалізації віртуальної моделі включає такі етапи:

- вибір типу лінзи з меню;
- автоматичне виведення зображення як поведеться лазерний промінь при зміні оптичного елемента;
- повертання перемикача потужності;
- автоматичний перерахунок потужності лазера в реальному часі і виведення результату;
- натискання на кнопку виходу для завершення роботи з віртуальним стендом.

2.4.4 Практичне застосування в освітньому процесі

Віртуальний стенд дозволяє:

- наочно продемонструвати принцип дії оптичних елементів;

- змінювати параметри в реальному часі;
- виявляти залежність між формою лінзи та її фокусною відстанню;
- проводити лабораторні досліди без ризику пошкодження обладнання.

2.5 Висновки до розділу 2

У даному розділі було розглянуто структуру та принцип дії основних оптичних елементів, що формують базу для створення віртуального стенду. Проведено класифікацію лінз за геометрією їхніх поверхонь та досліджено оптичні властивості:

- визначено фокусні відстані різних типів лінз з урахуванням знакової конвенції;
- побудовано відповідні формули та графічні ілюстрації для кожного типу лінзи;
- проаналізовано приклади використання кожної лінзи в оптичних приладах;
- розглянуто приклад побудови телескопічної системи Галілея на основі комбінації лінз.

Також було реалізовано віртуальну модель оптичної системи з можливістю взаємодії в реальному часі. Це дозволяє досліджувати хід променів, положення зображень, змінювати параметри оптичних елементів без потреби у фізичному обладнанні.

Таким чином, створення віртуального стенду забезпечує ефективне вивчення геометричної оптики, підвищує наочність викладеного матеріалу та відкриває перспективи для інтерактивного навчання.

3 ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ ВІРТУАЛЬНОГО СТЕНДУ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЙОГО РОБОТИ

3.1 Інтерфейс та можливості користувача

Розроблений віртуальний стенд оптичної системи забезпечує зручну взаємодію з користувачем у режимі реального часу. Стенд реалізовано як графічне середовище, що дозволяє моделювати розповсюдження світлових променів крізь різні типи лінз з можливістю динамічного налаштування параметрів.

Основні функції, доступні користувачу:

- вибір типу лінзи зі списку (двогнута, плоско-увігнута тощо);
- візуалізація ходу променів;
- візуалізація джерела випромінювання та регулювання його потужності.

Користувач може легко оцінити, яким чином зміна форми лінзи або її фокусної відстані впливає на побудову зображення (рис.3.1).

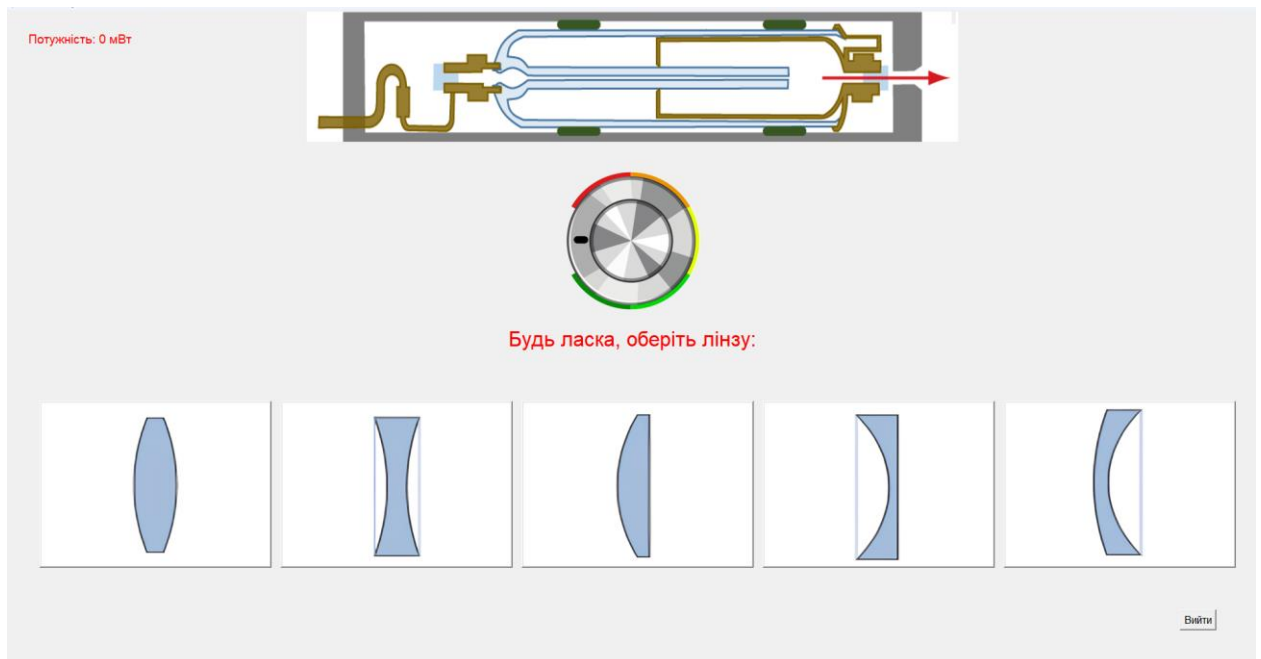


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд інтерфейсу програми

Праворуч вгорі розміщений лічильник потужності випромінювання лазера. По центру зверху розміщений сам He-Ne лазер. По центру знаходиться перемикач потужності лазера. У самому низу розміщені п'ять кнопок із зображенням різних лінз. Якщо натиснути послідовно на першу і другу лінзу, «розмістивши їх послідовно», ми отримаємо телескопічну систему Галілея. У правому нижньому куті розміщена кнопка виходу, яка припиняє роботу стенду.

3.2 Демонстрація результатів роботи стенду та опис користування програмою

Коли користувач хоче змінити потужність лазера, йому необхідно повернути ручку перемикача потужності, щоб побачити поточну потужність лазера як показано на рисунку 3.2.

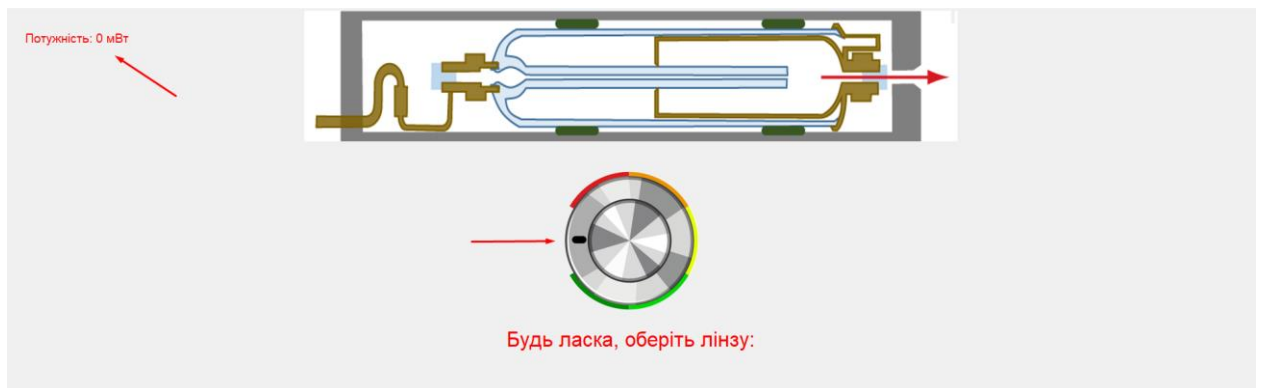


Рисунок 3.2 – Взаємодія з перемикачем потужності

Коли користувач хоче вибрати лінзу, йому необхідно натиснути на одну з представлених нижче п'яти лінз, як показано на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Взаємодія з вибором лінз

Якщо користувач хоче побудувати оптичну систему Галілея, йому необхідно послідовно вибрати першу, а потім другу лінзу з представленого порядку як показано на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Взаємодія з вибором лінз для відображення системи Галілея

Якщо користувач хоче завершити роботу з віртуальним сцендом, йому необхідно натиснути на кнопку «Вийти» і програма автоматично закриється як показано на рисунку 3.5.

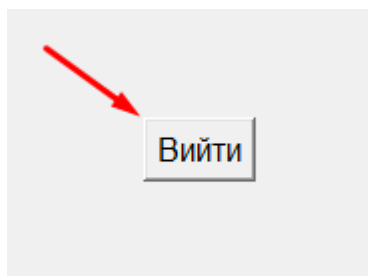


Рисунок 3.5 – Взаємодія з кнопкою виходу

Нижче наведена таблиця залежності кута повороту перемикача від потужності.

Таблиця 3.1 – Таблиця залежності кута повороту перемикача від потужності

Кут (градусів)	Струм I (mA)	Потужність (Вт)
0	0	0,000
30	300	0,118
60	600	0,235
90	900	0,353
120	1200	0,470
150	1500	0,588
180	1800	0,706
210	2100	0,824
240	2400	0,941
270	2700	1,059
300	3000	1,176
330	3300	1,294
360	3600	1.411

3.3 Висновки до розділу 3

У цьому розділі було представлено практичну реалізацію віртуального стенду для моделювання оптичної системи, а також описано основні функціональні можливості, доступні користувачу. Інтерфейс дозволяє швидко змінювати параметри лінз, розташування джерел світла та спостерігати побудову зображення у реальному часі.

Було змодельовано приклади проходження променів через різні типи лінз, зокрема:

- формування реального зображення у збиральній системі;
- розсіювання променів у випадку розсіювальної лінзи;
- побудову телескопічної системи Галілея з оптичним збільшенням.

Результати демонструють ефективність віртуального стенду як інструменту для візуалізації геометричної оптики та навчання принципам побудови зображень

ВИСНОВКИ

У результаті виконання проекту створено багатофункціональний віртуальний лабораторний стенд для моделювання оптичної системи, що поєднує теоретичну обґрунтованість, алгоритмічну логіку та програмну реалізацію. В основі стенду лежать фундаментальні положення геометричної оптики, зокрема принцип прямолінійного поширення світла, закон Снеліуса, формули побудови зображення в лінзах, а також моделі взаємодії світла з оптичними елементами – лінзами різних конфігурацій та дзеркалами.

Віртуальний стенд побудовано з урахуванням особливостей He-Ne лазера як джерела когерентного монохроматичного випромінювання – фізично достовірного, безпечного й ефективного для освітнього моделювання. Було реалізовано механізм регулювання лазерної потужності через цифрову модель потенціометра, що відображає взаємозв'язок між електричним струмом і потужністю за заданими параметрами, з можливістю графічного та табличного представлення результатів.

Користувач отримує доступ до інтерактивного графічного інтерфейсу, що дозволяє вибирати типи лінз, спостерігати за ходом лазерних променів, регулювати джерело випромінювання та конструювати складені оптичні системи — зокрема, телескоп Галілея. Реалізовано динамічне оновлення моделі в режимі реального часу, що створює передумови для досліджень, експериментів та лабораторних робіт без потреби у фізичному обладнанні.

Загалом, віртуальний стенд є ефективним інструментом для вивчення законів геометричної оптики, практичного моделювання оптичних процесів, розвитку інженерного мислення й підтримки STEM-освіти. Його створення демонструє успішну інтеграцію фізичних знань, алгоритмічного підходу та програмної реалізації, відкриваючи перспективи для розширення функціоналу, включення нових елементів і подальшого використання в навчальному середовищі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. OpticStudio (Zemax) – офіційна документація програмного комплексу для трасування променів. Офіційний сайт Zemax. URL: <https://www.ansys.com/products/optics/ansys-zemax-opticstudio> (дата звернення 14.06.2025).
2. Python Software Foundation. Офіційна документація Python та бібліотек Tkinter, NumPy, Pillow. Python Docs. URL: <https://docs.python.org/uk/3.13/library/tkinter.html> (дата звернення 15.06.2025).
3. Лінчевський І.В. Загальна фізика. Частина 4. Оптика. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 38 с. PDF-версія
4. Хруцький А.О., Горбачов Ю.Г., Громадський А.С., Ліфенцов О.С. Методика створення віртуальних лабораторних стендів при підготовці фахівців з галузевого машинобудування. // Вісник Криворізького національного університету. 2022. Вип. 55. С. 70–75. Доступ онлайн
5. Пальчевський Б.О., Валецький Б.П., Вараніцький Т.Л. Системи 3D моделювання. Луцьк: ЛНТУ, 2016. 210 с.
6. Прудка О.В. Розробка віртуальних стендів на базі NI LabView для використання у дистанційному навчанні. // Штучний інтелект. 2008. №4. С. 493–499. Доступ онлайн
7. Гелій-неоновий лазер – детальний опис принципу дії, спектральних характеристик та історії створення He-Ne лазера. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Гелій-неоновий_лазер (дата звернення 15.06.2025).
8. Сминтина В.А., Ваксман Ю.Ф. Загальний курс фізики. Т.4: Оптика. – Одеса: Астропринт, 2012. 432 с.
9. Старостін С.С., Толочко О.І. Дискретна математична модель контуру моментоутворюючого струму для синтезу цифрових систем регулювання електромеханічних об'єктів. Донецький національний

технічний університет. [URL:https://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/3375](https://ea.donntu.edu.ua/handle/123456789/3375)
(дата звернення 20.06.2025).

10. Кацадзе Т.Л., Паненко О.М. Математичні моделі електричних систем: Розрахунково-графічна робота. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.
[URL:https://ela.kpi.ua](https://ela.kpi.ua) (дата звернення 20.06.2025).

11. Лінзи для окулярів: класифікація, геометричні дизайни, адаптація. Оптика Львів. [URL:https://optika.lviv.ua/linzi-dlya-okulyariv-klasifikaciya-linz/](https://optika.lviv.ua/linzi-dlya-okulyariv-klasifikaciya-linz/)
(дата звернення 20.06.2025).

12. Лінза – Вікіпедія – класифікація лінз, типи аберацій, принципи побудови зображення. URL: uk.wikipedia.org (дата звернення 02.07.2025).