

Keywords: mathematics education, digital technologies, information and communication competence, silent video tasks.

Подано до друку 25.03.2025

Прийнято до друку 09.04.2025

УДК 374 (004.42)

DOI 10.24139/2519-2361/2025.01/180-187

В. М. Базурін

ORCID ID 0000-0002-6614-4889

Державний торговельно-економічний університет

С. В. Базуріна

Глухівський міський центр позашкільної освіти

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ПЕРЕДАЧІ ТЕПЛА ЧЕРЕЗ ЦИЛІНДРИЧНУ СТІНКУ

В умовах війни зростає роль комп'ютерних програм, які моделюють фізичні процеси і явища і можуть бути використані як засоби навчання під час дистанційного навчання. Зокрема, важливою є розробка моделей, які імітують процеси теплообміну і теплопередачі, здійснюють відповідні розрахунки і виводять результати обчислень на екран. Особливої уваги заслуговують технічна підтримка і можливість модернізації таких моделей. У статті розкрито особливості теплопередачі через циліндричну стінку, наведено розрахунки теплових втрат через циліндричну стінку, здійснено програмну реалізацію алгоритму розрахунку термічного опору і теплового потоку через циліндричну стінку. Програму HLCCW розроблено на мові Python з використанням додаткових бібліотек (math, tkinter, numpy, array, matplotlib). Програма надає користувачу можливість вибирати матеріал циліндричної стінки, вводити зовнішній діаметр, товщину стін, висоту стінки. Вхідні значення проміжку часу між дискретами, зовнішні і внутрішні температури вводяться з текстового файлу. Програма HLCCW здійснює розрахунок теплового потоку у кожен момент часу, будує графік втрат тепла і обраховує суму теплових втрат за заданий проміжок часу. Програма містить 4 класи і складається з 2 модулів – головного модуля і бібліотеки класів. У перспективі програму можна модернізувати, розширивши перелік функцій (зчитування даних з XLSX файла і бази даних, розмістити дані про теплоізоляційні матеріали в окремому файлі), а також розробивши мобільну версію програми. Розроблений програмний засіб може бути використаний у процесі вивчення таких дисциплін, як «Теплотехніка», «Теплові та гідравлічні машини» та інші, в курсі яких передбачено вивчення теми «Теплопередача через циліндричну стінку».

Ключові слова: теплові втрати, циліндрична стінка, тепловий потік, термічний опір, теплопровідність, програма, алгоритм, розрахунки.

Постановка проблеми. Майже всі люди у своєму повсякденному житті можуть спостерігати явище теплопередачі. Студенти інженерних спеціальностей також вивчають процеси теплопередачі – конвекційний теплообмін, теплопередачу через плоску стінку, теплопередачу через циліндричну стінку та інші. Вивчення всіх цих процесів потребує наявності громіздкого і коштовного обладнання. В умовах війни, коли дистанційне навчання є основною формою навчання у прифронтових областях, значно обмежена можливість проводити тривалі дослід з таким обладнанням. Саме тому актуальною є розробка комп'ютерних моделей, за допомогою яких можна здійснити віртуальний експеримент і перевірити правильність розрахунків, виконаних студентами. В результаті дослідження з'ясовано, що доступних комп'ютерних моделей, які можуть імітувати дослід з визначення теплових втрат через циліндричну стінку, немає.

Аналіз актуальних досліджень. Досліджувана нами проблема тісно пов'язана з моделюванням фізичних процесів, зокрема, процесу теплопередачі.

Проблему моделювання фізичних явищ досліджувала значна кількість українських і зарубіжних науковців. Значна кількість таких праць пов'язана саме з навчанням учнів і студентів.

Наприклад, В. Дронь розглядає комп'ютерні моделі фізичних явищ як засіб формування дослідницьких компонентностей студентів різних спеціальностей. Для цього використовуються комп'ютерні моделі з сайта [4]. В. Дронь описує використання комп'ютерних моделей конденсаторів і лінз.

Н. Головіна і М. Головін досліджують особливості моделювання фізичних явищ засобами бібліотеки Visual Python [2]. Вчені розробили комп'ютерну модель осцилятора і дослідили особливості коливання двох зв'язаних математичних і двох зв'язаних пружинних маятників.

Ю. В. Єчкало у своїй статті [5] розробляє таку класифікацію фізичних експериментів:

- експерименти, які стали емпіричним базисом у виявленні фізичних законів і в становленні наукових теорій;
- експерименти, що дозволили виявити фізичні явища, які в подальшому знайшли широке використання в побуті, виробництві, науці, техніці;
- експерименти, на основі яких згодом були розроблені нові, широко розповсюджені сьогодні експериментальні методи. Такі методи віднайшли своє застосування не лише у фізиці, але й у хімії, медицині, біології, техніці, мистецтвознавстві, промисловому і сільськогосподарському виробництві;
- експерименти, що покладені в основу сучасного промислового виробництва, створення високих технологій, які дали розвиток найбільш важливим напрямкам сучасного науково-технічного прогресу;
- експерименти, за допомогою яких були встановлені і розраховані фізичні константи [5, с.255-256].

У результаті дослідниця розробила і дослідила властивості моделі досліду Резерфорда за допомогою електронних таблиць MS Excel.

О. В. Слободяник розглядає комп'ютерне моделювання як технологію навчання учнів фізиці [8]. Вона пропонує такі етапи створення моделі процесу або явища: постановка задачі, визначення об'єкта моделювання, розробка концептуальної моделі, виявлення основних елементів системи і елементарних актів взаємодії, формалізація, створення алгоритму та написання програми, планування та проведення комп'ютерних експериментів, аналіз та інтерпретація результатів.

М. В. Головки, С. Ю. Крижановський і В. М. Мацюк розробили власну класифікацію навчальних моделей:

- 1) демонстраційно-ілюстративні;
- 2) навчально-евристичні [3].

Також вчені розкривають особливості створення комп'ютерних моделей в середовищі таких засобів, як Interactive Physics 2000, Proteus, Multisim, Micro-Cap, MatLab, MathCAD, Mathematika.

В. М. Базурін аналізує засоби ІКТ з точки зору їх можливостей для розробки моделей фізичних явищ [1]. На його думку, потужність кожного такого засобу виражається через критерії: інтерактивності, мультимедійності, зворотного зв'язку, автономності, обчислень, люб'язності. Найбільш ефективними для створення комп'ютерних моделей фізичних явищ В. М. Базурін вважає об'єктно-орієнтовані мови програмування. У статті наведено приклад комп'ютерної моделі опуклої лінзи, створеної за допомогою Borland Delphi.

Г. В. Скрипка досліджує проблему створення моделей фізичних процесів і їх реалізацію для мобільних пристроїв [7]. Автором наведено приклади комп'ютерних моделей на сайтах [9], [10], мобільний додаток «Фізика. Формули 2017», приклад функції «Кінематика» додатка LabCamera by Intellisense.

Отже, проблема моделювання фізичних явищ залишається актуальною, оскільки її досліджує значна кількість науковців.

Мета статті – розкрити особливості розрахунку теплових втрат через циліндричну стінку і особливості архітектури та функціоналу комп'ютерної програми, яка буде моделювати процес теплових втрат через циліндричну стінку.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо спочатку особливості теплопередачі через циліндричну стінку.

Нехай маємо циліндричну трубу довжиною $l=1\text{ м}$, всередині якої протікає теплоносіє з температурою t_1 . Коефіцієнт теплопровідності стінки труби дорівнює λ . Температури поверхонь труби t_{1c} і t_{2c} невідомі. Температура зовнішнього теплоносія дорівнює t_2 . Коефіцієнти передачі від теплоносіїв до труби дорівнюють відповідно α_1 і α_2 . Якщо поле стаціонарне, то кількість теплоти Q , яка передається від теплоносія до внутрішньої поверхні, дорівнює кількості теплоти Q , яка проходить через зовнішню поверхню [6, с.59].

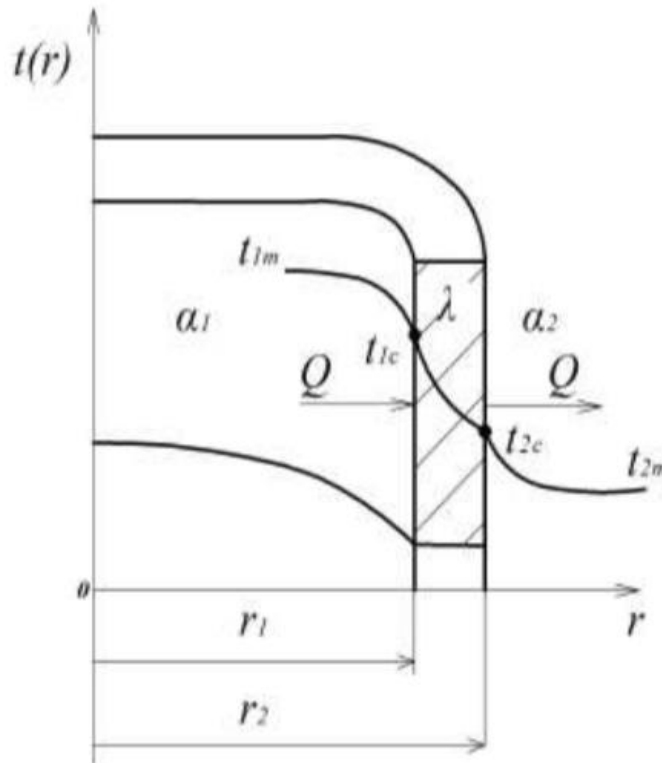


Рис.1. Теплопередача через циліндричну стінку [6, с.60]

Внутрішній радіус труби дорівнює r_1 , а зовнішній – r_2 . Необхідно враховувати, що площа ізотермічних поверхонь зростає у напрямі від r_1 до r_2 . Тому в розрахунках використовується не питомий тепловий потік (Вт/м^2), а тепловий потік (Вт). Це тепло входить через внутрішню поверхню стінки $F_1=\pi d_1 l$, а виходить через зовнішню поверхню $F_2=\pi d_2 l$. У розрахунках вважаємо, що довжина труби $l=1\text{ м}$.

У результаті маємо потік теплоти:

$$Q = \alpha_1 d_1 (t_1 - t_{1c}) \quad (1)$$

$$Q = \frac{2\pi\lambda(t_{1c} - t_{2c})}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \quad (2)$$

$$Q = \alpha_2 \pi d_2 (t_{2c} - t_2) \quad (3)$$

Обчислимо часткові температурні напори:

$$\Delta t_1 = (t_1 - t_{1c}) = Q \frac{1}{\pi d_1 \alpha_1} = \frac{Q}{\pi} R_1 \quad (4)$$

$$\Delta t_2 = (t_{1c} - t_{2c}) = \frac{Q \ln \frac{d_2}{d_1}}{2\pi\lambda} = \frac{Q}{\pi} R_2 \quad (5)$$

$$\Delta t_3 = (t_{2c} - t_2) = Q \frac{1}{\pi \alpha_2 d_2} = \frac{Q}{\pi} R_3 \quad (6)$$

У результаті перетворень отримаємо:

$$k_l = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{\ln \frac{d_2}{d_1}}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}} \quad (7)$$

де k_l – лінійний коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м*К).

Тому рівняння теплопередачі через одношарову циліндричну стінку набуває такого вигляду:

$$Q = k_l \pi l (t_2 - t_1) \quad (8)$$

Фізичний зміст коефіцієнта k_l – це кількість теплоти, яка проходить за 1 с через 1 м труби від гарячого теплоносія до холодного при різниці температур між ними в 1°C [6, с.61].

Значення густини теплового потоку q_1 і q_2 (Вт/м²), віднесені до внутрішньої і зовнішньої поверхні, будуть відрізнятися між собою і дорівнюватимуть:

$$q_1 = \frac{Q}{\pi d_1 l} = \frac{k_l}{d_1} (t_1 - t_2) \quad (9)$$

$$q_2 = \frac{Q}{\pi d_2 l} = \frac{k_l}{d_2} (t_1 - t_2) \quad (10)$$

Повний лінійний термічний опір R – це величина, обернена лінійному коефіцієнту теплопередачі через циліндричну стінку, яка визначається за формулою:

$$R = \frac{1}{k_l} = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2} \quad (11)$$

Де $\frac{1}{\alpha_1 d_1}$, $\frac{1}{\alpha_2 d_2}$ – термічні опори тепловіддачі;

$\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}$ – термічний опір одношарової циліндричної стінки.

Температури внутрішньої і зовнішньої поверхонь циліндричної стінки t_{c1} і t_{c2} визначаються за формулами:

$$t_{c1} = t_1 - \frac{Q}{\alpha_1 d_1 \pi l} \quad (12)$$

$$t_{c2} = t_2 - \frac{Q}{\alpha_2 d_2 \pi l} \quad (13)$$

При перенесенні теплоти через багатшарову циліндричну стінку, яка має n шарів, тепловий потік Q буде дорівнювати [6, с.62]:

$$Q = \frac{\pi l (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_{i+1}}} \quad (14)$$

Проаналізувавши стан розробки проблеми, ми встановили, що для моделювання фізичних явищ можна використовувати як відповідні сайти з готовими моделями, так і програмне забезпечення загального призначення (математичні пакети, електронні таблиці тощо). Але нас більше цікавить створення комп'ютерної моделі «з нуля», на мові програмування. Саме тому ми проаналізуємо мови програмування, які є, на нашу думку, найбільш придатними для створення комп'ютерних моделей.

Мова C++ має високу швидкість виконання, що є важливим для складних обчислень. Завдяки низькорівневому доступу до пам'яті дозволяє оптимізувати роботу програми, однак має складніший синтаксис та вимагає більших витрат часу при написанні коду. Підтримує крос-платформну розробку, однак не має вбудованих функцій для побудови графіків. З використанням бібліотеки QT5 на мові C++ можна розробити віконний додаток.

Мова Python має порівняно простий синтаксис і широкі можливості, велику кількість бібліотек, що можуть бути використані при складних математичних обчисленнях, а високорівневий синтаксис спрощує написання коду. Додатково, засоби візуалізації даних, зокрема Matplotlib, дозволяють наочно аналізувати результати розрахунків. Будучи інтерпретованою мовою поступається в продуктивності багатьом компільованим мовам.

Мова Java є швидшою за Python завдяки компіляції в байт-код та простішою у використанні, ніж C++, забезпечує кросплатформність, однак, як і C++, вона не має такої кількості вбудованих інструментів для чисельних обчислень, що ускладнює розробку наукових програм без сторонніх бібліотек.

Мова C# має схожі з Java особливості синтаксису, однак тісно інтегрований з платформою .NET, що робить його зручним для розробки Windows додатків. Є гарним

вибором для програм з графічним інтерфейсом, однак є менш популярним у використанні при обчисленнях, що обмежує вибір бібліотек.

Висновок. Для розробки комп'ютерної програми ми вибираємо мову програмування Python, оскільки вона знайома нам з шкільного курсу інформатики. Додаткові бібліотеки Python значно розширюють можливості мови для проведення розрахунків і відображення графіків залежності теплових втрат від часу.

Для того, щоб правильно обчислювати теплові втрати через циліндричну стінку за проміжок часу і оптимально взаємодіяти з користувачем, програма HLCCW повинна задовольняти такі вимоги:

- 1) мати простий, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс;
- 2) надавати користувачу можливість вибрати матеріал стіни, задати розміри стіни;
- 3) зчитувати масив температур і часовий відлік між дискретами з текстового файла;
- 4) обчислювати термічний опір 1 м стіни;
- 5) обчислювати втрати теплоти за весь проміжок часу;
- 6) зображати графік теплових втрат в окремому вікні;
- 7) забезпечувати можливість швидкої модернізації і модифікації програми.

Висновок. За умови відповідності даним вимогам програма повинна надавати користувачу потрібний функціонал для виконання розрахунків.

У результаті декомпозиції поставленої задачі ми визначили основні класи програми (їх зображено на рис.2.1). Розглянемо їх детальніше.

Клас Main – головний клас програми. Він містить методи для виклику методів з іншого модуля і метод Resistance (обчислення термічного опору 1 м стіни).

Клас Material – це конкретний матеріал стіни. Він має поля NameEN, NameUA, lambda0 (коефіцієнт теплопровідності матеріалу).

Клас AllLayers містить дані про всі матеріали. Він має поля: AllMaterials (список всіх матеріалів) і N (кількість матеріалів у списку).

Клас Wall містить дані про конкретну стіну. Він має поля: d1, d2, h, lambda0 (коефіцієнт теплопровідності), q (список значень втрат тепла за конкретні моменти часу). Методи: CalcFlow(обчислення теплового потоку), CalcLosses (обчислення суми втрат за визначений період) і Draw (виведення на екран графіка залежності теплових втрат від часу).

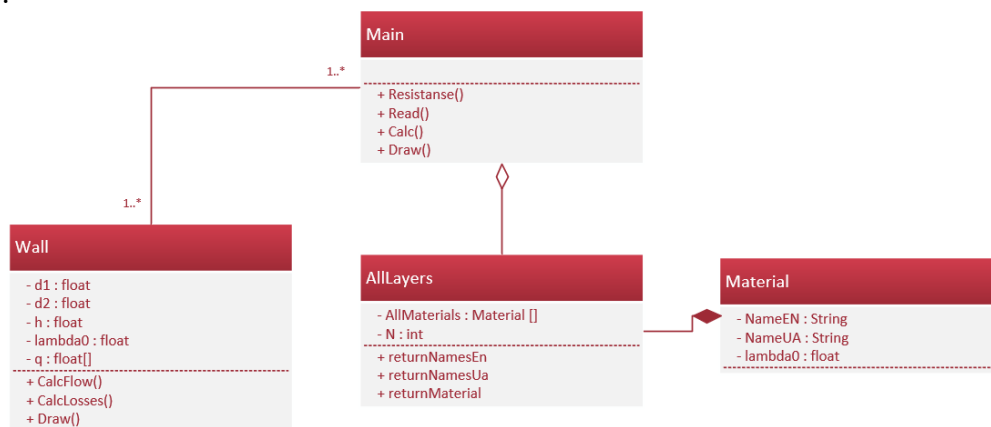


Рис. 2. Діаграма класів програми HLCCW

Програму HLCCW ми написали на мові Python. Це забезпечує простоту написання і збірки програми. Крім того, Python має багато додаткових модулів, які розширюють можливості мови програмування.

Для побудови програми використано компонентно-орієнтований підхід. Головний файл програми містить лише клас Main, всі інші класи записано в модуль HeatLossLib.py.

Для виконання обчислень, малювання графіка і створення інтерфейсу задіяно додаткові модулі:

- math – містить математичні функції;

- array – містить функції для роботи з одновимірними масивами;
- numpy – містить функції роботи з одновимірними та багатовимірними масивами і базові функції для модуля matplotlib;
- matplotlib – містить функції для малювання графіка;
- tkinter – містить об'єкти і методи графічного інтерфейсу програми.

Всі елементи інтерфейсу було скомпоновано на формі (рис. 3). Для побудови і виведення графіка залежності $Q(t)$ було створено додаткове вікно (рис. 4).

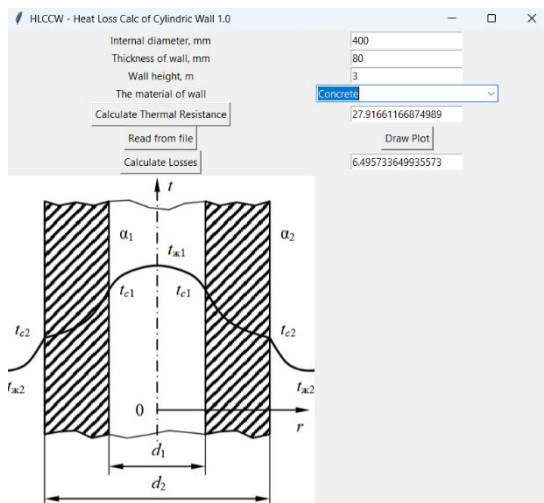


Рис. 3. Головне вікно програми

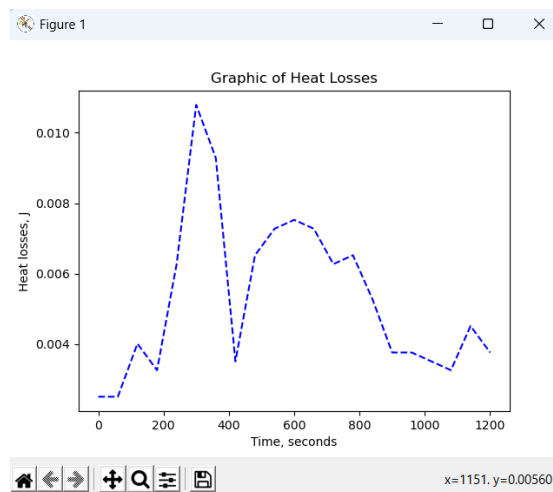


Рис. 4. Виведення графіка теплових втрат програми

Для графічного інтерфейсу було використано такі віджети бібліотеки tkinter:

- Label – текстовий напис;
- Entry – однорядкове текстове поле;
- Button – кнопка;
- Combobox – випадний список;
- Canvas – поле для зображення схеми циліндричної стінки.

Розроблену програму ми протестували на комп'ютері з встановленою операційною системою MS Windows 11, програма функціонувала стабільно, виконувала всі потрібні обчислення і виводила результат у вигляді графіка.

Розроблену програму HLCCW (Heat Loss Calculator for Cylindric Wall) доцільно використати на заняттях з дисциплін «Термодинаміка», «Теплотехніка», «Теплові і гідравлічні машини» під час вивчення теми «Теплопередача через циліндричну стінку».

Програма має такі перспективи модернізації:

Версія 1.1 – додання функцій зчитування масиву температур з XLSX, JSON файлів і бази даних.

Версія 1.2 – додання функцій зчитування параметрів теплоізоляційних матеріалів з JSON або TXT-файла. Це надасть можливість користувачу самостійно редагувати список теплоізоляційних матеріалів.

Версія 1.3 – створення локалізацій програми для різних країн. Написи на вікні і віджетах повинні відображатися на тій мові, яка характерна для заданої країни. Текст написів доцільно розмістити в файлах локалізації. Користувач повинен мати можливість викачати файли локалізації і налаштувати мову інтерфейсу на власний розсуд.

Версія 2.0 – перехід на бібліотеку PyQt 5 або PyQt 6 для більш професійного відображення інтерфейсу.

Версія 3.0 – перекомпонування додатка таким чином, щоб всі функції знаходились в зовнішніх модулях, а в головному модулі були лише віджети і виклики відповідних функцій.

Отже, розроблена програма HLCCW функціонує належним чином і може бути в подальшому модернізована за принципом додавання нових функцій.

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок. На основі аналізу результатів дослідження можна зробити такі висновки.

1. На основі аналізу наукових джерел встановлено, що проблема розробки моделей фізичних явищ і їх застосування в освітньому процесі загальноосвітніх шкіл і закладів вищої освіти залишається актуальною.
2. Розрахунок теплових втрат через циліндричну стінку має свої особливості. Вони пов'язані з тим, що зовнішня і внутрішня поверхні циліндричної стінки мають різну площу, тому розраховується не потік теплоти через одиницю площі, а потік теплоти через всю стінку довжиною 1 м.
3. Для розробки програми HLCCW ми вибрали мову програмування Python. Це дозволяє написати програму порівняно швидко, з мінімальною кількістю компіляцій проекту, і розширити функціонал за рахунок додаткових бібліотек мови Python.
4. Розроблено вимоги до програмного засобу. Головною вимогою є те, що програма повинна виконувати розрахунки і виводити на екран графік залежності теплових втрат від часу.
5. Програму HLCCW написано на мові Python з використанням додаткових бібліотек. Під час побудови архітектури додатка застосовано компонентно-орієнтований підхід, відповідно до якого програму скомпоновано з двох модулів. Завдяки модульній структурі програму порівняно просто модернізувати, написавши додатковий модуль і підключивши його до головного модуля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Базурін, В. М. (2011). Вибір програмних засобів для створення моделей фізичних процесів і явищ. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: збірник наукових праць. Вип. IX. Кривий Ріг: Видавничий відділ НМетАУ*, 225-230. (Bazurin, V. M. (2011). Selection of software tools for creating models of physical processes and phenomena. Theory and methods of teaching mathematics, physics, computer science: collection of scientific papers. Issue IX. Kryvyi Rih: Publishing Department of NMetAU, 225-230).
2. Головіна, Н., Головін, М. (2021) Методичні особливості моделювання фізичних явищ на прикладі взаємодіючих коливань. *Фізика та освітні технології*, 2, 3–10, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2021-2-1> (Golovina, N., Golovin, M. (2021) Methodological features of modeling physical phenomena using the example of interacting oscillations. Physics and Educational Technologies, 2, 3–10, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2021-2-1>)
3. Головко, М. В., Крижановський, С. Ю., & Мацюк, В. М. (2015). Моделювання віртуального фізичного експерименту для систем дистанційного навчання в загальноосвітній і вищій педагогічній школах. *Інформаційні технології і засоби навчання*, (47, вип. 3), 36-48. (Golovko, M. V., Kryzhanovsky, S. Yu., & Matsyuk, V. M. (2015). Modeling of a virtual physical experiment for distance learning systems in general education and higher pedagogical schools. Information Technologies and Learning Tools, (47, issue 3), 36-48).
4. Дронь, В. (2022). Формування дослідницьких компетентностей у здобувачів освіти під час комп'ютерного моделювання фізичних явищ та процесів при дистанційному навчанні. *Фізико-математична освіта*, 35(3), 19-25. (Dron, V. (2022). Formation of research competencies in students during computer modeling of physical phenomena and processes in distance learning. Physics and Mathematics Education, 35(3), 19-25).
5. Єчкало, Ю. В. (2011). Комп'ютерне моделювання фундаментальних фізичних експериментів. *Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. Серія: Педагогічні науки*, (89), 255-259. (Yechkalo, Yu. V. (2011). Computer modeling of fundamental physical experiments. Bulletin of the Chernihiv State Pedagogical University named after T.G. Shevchenko. Series: Pedagogical Sciences, (89), 255-259).
6. Конспект лекцій з дисципліни «Тепломасообмін» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 144 «Теплоенергетика» (2021) / Укл. Соколовська І.Є. Кам'янське, ДДТУ. 114 с. (Lecture notes on the discipline "Heat and

- Mass Transfer" for students of the first (bachelor's) level of higher education in specialty 144 "Heat Power Engineering" (2021) / Ukl. Sokolovska I.E. Камуанське, DSTU. 114 p).
7. Скрипка, Г. В. (2017). Моделювання фізичних явищ з використанням мобільних пристроїв у процесі викладання фізики. *Актуальні питання природничо-математичної освіти*, 177. (Skrypka, G. V. (2017). Modeling of physical phenomena using mobile devices in the process of teaching physics. *Current issues of natural and mathematical education*, 177.).
 8. Слободяник, О. В. (2018). Комп'ютерне моделювання як інструмент візуалізації фізичних явищ. (Slobodyanyk, O. V. (2018). Computer modeling as a tool for visualizing physical phenomena).
 9. PhET Simulations. URL: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/filter?subjects=physics&type=html>
 10. The Virtual Physical Laboratory. URL: <http://vplab.ndo.co.uk/home>

Bazurin V., Bazurina S. Software implementation of a computer model of the heat transfer process through a cylindrical wall.

Summary. *In wartime, the role of computer programs that simulate physical processes and phenomena is increasing and can be used as teaching aids during distance learning. In particular, it is essential to develop models that simulate heat exchange and heat transfer processes, perform accurate calculations, and display the results on the screen. Special attention should be paid to technical support and the possibility of upgrading such models. The article reveals the features of heat transfer through a cylindrical wall, provides calculations of heat losses through a cylindrical wall, and implements a software implementation of the algorithm for calculating thermal resistance and heat flux through a cylindrical wall. The HLCCW program is developed in Python using additional libraries (math, tkinter, numpy, array, matplotlib). The program allows the user to select the material of the cylindrical wall, enter the outer diameter, wall thickness, and wall height. The input values of the time interval between discrete, external, and internal temperatures are entered from a text file. The HLCCW program calculates the heat flux at each time point, plots a heat loss graph, and calculates the sum of heat losses for a given period. The program contains 4 classes and consists of 2 modules – the main module and a class library. In the future, the program can be modernized by expanding the list of functions (reading data from XLSX files and databases, placing data on thermal insulation materials in a separate file), as well as developing a mobile version of the program. The developed software tool can be used in the process of studying such disciplines as "Heat Engineering", "Thermal and Hydraulic Machines", and others, the course of which provides for the study of the topic "Heat Transfer through a Cylindrical Wall".*

Keywords: heat loss, cylindrical wall, heat flow, thermal resistance, thermal conductivity, program, algorithm, calculations.

Подано до друку 20.03.2025

Прийнято до друку 09.04.2025