МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ

«ЗАПОРІЗЬКИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Циклова комісія спеціальності

121 Інженерія програмного забезпечення

спеціалізація «Розробка програмного забезпечення»

### РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЛЯ ЧИСЛОВОГО РІШЕННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ

### Пояснювальна записка до курсової роботи

121.54.07.01 ПЗ

#### 

Викладач Алла СМІРНОВА

Члени комісії Ян БАСОК

Данило БОРОВИК

Студент гр. РПЗ 20 1/9 Олексій ДОЛИННИЙ

2023

**РЕФЕРАТ**

Пояснювальна записка до курсової роботи містить 0 сторінок,   
0 рисунків, 0 таблиць, 2 додатки, 0 джерел.

Метою курсової роботи є розробка програмного продукту для спрощення роботи з диференціальними рівняннями.

Програмне забезпечення розроблене у середовищі Microsoft Visual   
Studio 2019 за допомогою візуальної мови програмування C#.

Програма працює на ПК під керуванням операційної системи Microsoft Windows 10. Застосунок має зручний, максимально орієнтований на кінцевого користувача інтерфейс.

В загальному розділі розглянуті такі питання: опис предметної області, постанова завдання, обґрунтування вибору середовища розробки системи та середовища функціонування системи.

В спеціальному розділі розглянуті основні рішення щодо реалізації компонентів системи, методика роботи користувача з системою, яка включає інструкцію програмісту та інструкцію оператору.

ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ РІВНЯННЯ, ПОХІДНА, ЗАДАЧА КОШІ, ПОРЯДОК РІВНЯННЯ, C#, ОПЕРАЦІЙНА СИСТЕМА WINDOWS, ІНТЕРФЕЙС

**ЗМІСТ**

Вступ 4

1. Загальний розділ 6
   1. Опис предметної області 6
   2. Постанова завдання 13
   3. Обґрунтування вибору середовища розробки системи 15
   4. Обґрунтування вибору середовища функціонування системи 20
2. Спеціальний розділ 24
   1. Основні рішення щодо реалізації компонентів системи 24
   2. Використані моделі даних 24
   3. Методика роботи користувача з системою 31
      1. Керівництво програміста 31
      2. Керівництво оператора 32

Висновки 36

Перелік джерел посилання 37

Додаток А (обов’язковий) Текст програми 38

Додаток Б (обов’язковий) Приклади звітів 53

**ВСТУП**

Метою створення додатку була необхідність чисельного рішення диференціальних рівнянь.

При вирішенні багатьох практичних завдань, необхідно знаходити значення невідомої функції з рівняння, яке містить, поряд з цією невідомою функцією, її похідні. Такі рівняння звуться диференціальними, та відокремлюються в окрему галузь математики.

Диференціальні рівняння відіграють значну роль у математичному моделюванні багатьох завдань у різних галузях науки та техніки. Вони широко використовуються на практиці, зокрема для опису перехідних процесів, коливань, теплопровідності, деформації балок і пластин, поширення електричного струму у провіднику тощо. Тому їх вирішення завжди було одним із найважливіших математичних завдань.

Перші найпростіші диференціальні рівняння з’явилися ще дуже давно, у часи Ісаака Ньютона. З того часу ця область математики неухильно розширювалась. Диференціальні рівняння набули величезного прикладного значення, оскільки вони є інструментом дослідження багатьох завдань у природознавстві і техніці. Вони широко використовуються в механіці, астрономії, фізиці, а також у багатьох завданнях хімії та біології. Причина цього криється в тому, що вони дозволяють кількісно висловити основні закони, яким підпорядковуються певні явища та процеси.

Багато фізичних законів можуть бути записані у вигляді диференціальних рівнянь. Однак їх інтегрування є складним завданням. Деякі диференціальні рівняння можна вирішити явно, тобто знайти потрібну функцію за допомогою формули. Для інших рівнянь такі зручні формули й досі не знайдені, і в таких випадках рішення знаходять із використанням цифрових електронно-обчислювальних пристроїв.

З розвитком інформаційних технологій досягли величезного прогресу й комп’ютери. З використанням методів чисельного наближеного інтегрування диференціальних рівнянь, які забезпечують зручні обчислення з досить високою точністю, сучасна обчислювальна техніка дозволяє отримувати числові результати економічно та швидко. [1]

Мета створення даної програми – спрощення рішення диференціальних рівнянь за допомогою чисельних методів.

Програма розроблена за допомогою середовища програмування   
Visual Studio 2019 на мові програмування C#.

1. **ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ**

**1.1 Опис предметної області**

Предметну область можна визначити як сферу людської діяльності, виділену і описану згідно зі встановленими критеріями.

Під терміном «модель» будемо розуміти будь-який математичний об’єкт, який описує властивості системи, що досліджується.

При цьому під моделлю предметної області розуміється деяка система, що імітує структуру або функціонування досліджуваної предметної області і відповідає основній вимозі - бути адекватної цій області.

Предметною областю являються чисельні методи рішення диференціальних рівнянь.

Теорія диференціальних рівнянь — розділ математики, який розглядає теорію та способи розв'язування диференціальних рівнянь.

Диференціальні рівняння — рівняння, що встановлюють залежність між незалежними змінними, числами (параметрами), невідомими функціями та їхніми похідними.

У застосуваннях математики часто виникають задачі, в яких залежність одного параметра від іншого є невідомою, але можливо записати вираз для швидкості зміни одного параметра відносно іншого (похідної). У цьому випадку задача зводиться до знаходження функції за її похідною відносно з деяких інших виразів.

У випадку одного аргументу диференціальне рівняння називається звичайним; у випадку декількох аргументів — диференціальним рівнянням з частинними похідними.

Порядком диференціального рівняння називається найвищий порядок похідної, що входить до рівняння. [1]

Розв'язком диференціального рівняння порядку n називається функція, що має похідні, до n-ного порядку включно на деякому інтервалі, підставлення якої у рівняння перетворює його у тотожність. Якщо рівняння має розв'язок, то не один, а нескінченну множину; розв'язок може залежати не лише від аргументу, але також від однієї або декількох довільних сталих чи функцій.

Задача Коші — одна з основних задач теорії диференціальних рівнянь — полягає в пошуку розв'язку (інтеграла) диференціального рівняння, що задовольняє початковим умовам (початковим даним).

Початковими умовами або граничними умовами називаються додаткові умови, що накладаються на функцію при розв'язку конкретної задачі, що приводить до диференціального рівняння.

Чисельні методи — методи наближеного або точного розв'язування задач чистої або прикладної математики, які ґрунтуються на побудові послідовності дій над скінченною множиною чисел.

Чисельні методи можна поділити за способом дискретизації на проєкційні, скінченно-різницеві та проєкційно-різницеві, а за способом розв'язання лінійної системи — на прямі, ітераційні та комбіновані методи.

При ітераційних методах можна віднайти розв'язок задачі, використовуючи низку формул, де кожний новий уточнений наближений розв'язок xk обчислюється через попередній xk-1, тобто xk = f(xk-1). Ітераційний процес пошуку наближеного розв'язку завершується тоді, коли виконається умова |xk – xk-1| ≤ ε.

Метод Ейлера - чисельний спосіб розв'язання систем звичайних диференціальних рівнянь. Метод Ейлера є очевидним, однокроковим методом першого порядку точності. Це найбільш базовий вид чисельних методів інтегрування звичайних диференціальних рівнянь. [2]

Чисельне рішення за методом Ейлера для точки xn+1 задається формулою:

де h – крок інтегрування, n – номер ітерації.

Метод Ейлера був історично першим методом чисельного вирішення завдання Коші. О. Коші використав цей метод для доказу існування розв'язання задачі Коші. Через невисоку точність і обчислювальну нестійкість для практичного знаходження рішень завдання Коші метод Ейлера застосовується рідко. Однак через свою простоту метод Ейлера знаходить своє застосування в теоретичних дослідженнях диференціальних рівнянь, завдань варіаційного обчислення та ряду інших математичних проблем.

З метою підвищити точність та стійкість обчислення рішення використовується модифікація методу Ейлера:

Методи Рунге - Кутта — важлива група чисельних методів розв’язування звичайних диференціальних рівнянь. [3]

До класу методів Рунге - Кутта відносяться явний метод Ейлера і модифікований метод Ейлера з перерахунком. Найчастіше використовується та реалізований у різних математичних пакетах класичний метод Рунге — Кутта, що має четвертий порядок точності.

Метод Рунге - Кутта четвертого порядку під час обчислень з постійним кроком інтеграції настільки широко розповсюджений, що його часто називають просто методом Рунге - Кутта. [4]

Тоді значення невідомої функції в точці xn+1 обчислюється відносно значення в попередній точці xn за формулою:

де h — крок інтегрування, а коефіцієнти kn розраховуються наступним чином:

Метод Адамса — група методів чисельного інтегрування звичайних диференційних рівнянь, які дозволяють обчислювати таблицю наближених значень розв'язку за даними в початкових точках. Метод Адамса є багатокроковим методом, тому має значно вищу точність обчислень ніж однокрокові.

Найпростішим багатокроковим методом є двокроковий метод Адамса-Бешфорта.

Цей метод для отримання наступного значення, yn+2, потребує два значення, yn+1 і yn. Один з підходів полягає у використанні y1, обчисленого будь-яким іншим методом. Для двокрокового методу Адамса-Бешфорта наступне значення функції обчислюється за формулою: [5]

У програмі реалізовано наступні методи: модифікований метод Ейлера; класичний метод Рунге-Кутта; метод Адамса-Бешфорта, початкова послідовність значень для якого розраховується за методом Рунге-Кутта.

**1.2 Постанова завдання**

Мета створення даної програми – спрощення рішення диференціальних рівнянь за допомогою чисельних методів. Створюване програмне забезпечення повинно мати наступні функції:

* зручне введення досліджуваного рівняння;
* вибір методу розв’язання;
* швидке обчислення за обраним методом;
* зміна початкових умов для рівняння;
* перегляд результату обчислень;
* графічне відображення результату у вигляді графіків.

До основних вимог проектованої системи відносяться:

* виведення на екран вихідних форм;
* інтерфейс повинен бути виконаний у вигляді стандартних вікон Windows;
* програма повинна надавати можливість переходу з однієї форми на іншу.

До основних вимог до надійності програми відносяться наступні:

* коректна інтерпретація і зберігання інформації;
* перевірка на коректність введеної користувачем інформації.

Для нормальної роботи програми необхідно мати персональний комп’ютер з такими характеристиками:

* процесор з тактовою частотою не менш 1 ГГц;
* оперативна пам'ять 1 Гб та більше;
* вільний дисковий простір від 10 Мб.

Окрім цього повинні бути у наявності монітор з мінімальним розширенням 800х600 пікселів, клавіатура, та маніпулятор «миша».

На всі пристрої, що використовуються в системі, потрібні драйвери цих пристроїв.

Програма повинна нормально функціонувати під керуванням операційної системи Microsoft Windows 10.

Для перенесення програми на інший комп’ютер достатньо скопіювати папку, яка містить завантажувальний файл програми. Додаткових дій з інсталяції програма не потребує.

**1.3 Обґрунтування вибору середовища розробки системи**

Розробка програмного забезпечення виконана в візуальному середовищі програмування Visual Studio 2019.

Інтегроване середовище розробки Microsoft Visual Studio – це дуже потужний засіб, створений корпорацією Microsoft, який можна використовувати для редагування, налагодження та складання коду, а також для публікації програми. Крім стандартного редактора та відладчика, Visual Studio включає компілятори, засоби завершення коду, графічні конструктори та інструменти для вдосконалення процесу розробки програмного забезпечення, що дозволяє взагалі не залишати цього середовища піж час розробки. Visual Studio не тільки надає всі необхідні інструменти для роботи з програмами, але також допомагає правильно організувати їх. Вона виявляється найбільш ефективною для роботи над великими проектами, хоча з тим самим успіхом може бути використана і для розробки невеликих програм.

Visual Studio 2019 є найбільш повним інтегрованим середовищем розробки для розробників .NET і C++ у Windows. Повноцінний набір інструментів та функцій дозволяє покращити та вдосконалити кожен етап розробки програмного забезпечення. [6]

.NET — це безкоштовна платформа з відкритим кодом для створення сучасних програм і потужних хмарних служб. .NET є безкоштовним проектом із відкритим вихідним кодом, розроблений і підтримуваний на GitHub. Він дає змогу писати, запускати та створювати на кількох платформах, включаючи Windows, Linux і macOS. Завдяки великій екосистемі підтримки та потужним інструментам .NET є найпродуктивнішою платформою для розробників. [7]

Новий .NET Framework 4.7.2 - це наступне велике оновлення після випуску v4.7.1 у жовтні 2017 року, в якому додано підтримку .NET Standard 2.0, що визначає API, які повинні надавати всі відповідні реалізації .NET для забезпечення узгодженого використання API в проекти розробки, замінюючи попередні переносні бібліотеки класів (PCL) як засіб створення бібліотек для всіх сценаріїв.

.NET Framework 4.7.2 містить безліч переваг, включаючи підтримку Windows Forms і WPF, додавання нових API-інтерфейсів JSON, підтримку ARM64 і високою продуктивністю по всіх напрямках. У цю версію також входить C# 9, який включає потоки з нульовим значенням, асинхронні потоки та інші шаблони. Включений F# 5, орієнтований на спрощення синтаксису.

Він активно використовується командами Microsoft та інших компаній у виробництві та для тестування продуктивності. Ці команди демонструють відмінні результати, що демонструють приріст продуктивності та/або можливості зниження витрат на хостинг для своїх веб-додатків.

.NET Framework, як і раніше, залишається оптимальним вибором для настільних проектів Windows, таких як програми WinForms, WPF і ASP.NET WebForms. [8]

Одним з компонентів пакету Microsoft .NET Framework є CLR (Common Language Runtime — «загальномовне виконуюче середовище») – це середовище для байт-коду CIL (MSIL), в який компілюються програми, написані на .NET-сумісних мовах програмування.

Середовище CLR було створено компанією Microsoft, як реалізація VES (Virtual Execution System – система віртуального виконання), згідно специфікації Microsoft CLI (англ. Common Language Infrastructure – специфікація загальномовної інфраструктури). Код, який виконується в Common Language Runtime, називається керованим кодом. Іншими словами, можна сказати, що CLR забезпечує кероване середовище виконання для .NET програм шляхом покращення безпеки, включаючи міжмовну інтеграцію та багатий набір бібліотек класів тощо. CLR присутній у кожній версії .NET Framework.

Переваги CLR:

* він покращує продуктивність, забезпечуючи багату взаємодію між програмами під час виконання;
* підвищує мобільність, усунувши необхідність перекомпілювати програму в будь-якій операційній системі, яка її підтримує;
* безпека також підвищується, оскільки він аналізує, наскільки безпечні інструкції MSIL. Крім того, використання делегатів замість покажчиків на функції підвищує безпеку типів;
* підтримка автоматичного керування пам'яттю за допомогою Garbage Collector;
* забезпечує міжмовну інтеграцію, оскільки CTS усередині CLR забезпечує загальний стандарт, який дає різним мовам можливість для розширення та спільного використання бібліотек одна одної;
* надає підтримку для використання компонентів, розроблених іншими мовами програмування .NET;
* забезпечення незалежності від мови, платформи та архітектури;
* дозволяє легко створювати масштабовані та багатопотокові програми, оскільки розробнику не потрібно думати про керування пам’яттю та питання безпеки.

CLR є основним компонентом віртуальної машини .NET Framework. Це середовище виконання в .NET Framework, яке запускає коди та допомагає полегшити процес розробки, надаючи різні служби. По суті, він відповідає за керування виконанням програм .NET незалежно від мови програмування .NET .

Загалом, CLR є критично важливим компонентом .NET Framework і відповідає за безпечне, надійне та ефективне виконання програм .NET, що робить його основним аспектом програмування на C#. [9]

Під час компіляції програми C# отриманий виконуваний код містить проміжну мову, Common Intermediate Language (CIL) або Microsoft Intermediate Language (MSIL). Цей код не залежить від комп’ютера, і він може працювати на будь-якій платформі, на якій встановлено CLR. Коли код CIL виконується, CLR компілює його в машинний код, який може бути виконаний процесором.

Для написання програмного забезпечення була обрана мова програмування С#. Мова C# не розповсюджується як окремий продукт – вона є частиною платформи Microsoft .NET Framework.

C# — це сучасна об’єктно-орієнтована мова програмування загального призначення , створена та розроблена компанією Microsoft разом із платформою .NET. Існує дуже різноманітне програмне забезпечення, розроблене на C# та на платформі .NET: офісні програми, веб-програми, веб-сайти, настільні програми, мобільні програми, ігри та багато іншого.

C# є мовою високого рівня, яка схожа на Java і C++ і, певною мірою, на такі мови, як Delphi, VB.NET і C. Усі програми на C# об’єктно-орієнтовані. Вони складаються з набору визначень у класах, які містять методи, а методи містять логіку програми – інструкції, які виконує комп’ютер.

C# вже давно займає своє місце серед найпопулярніших мов програмування на ринку, та лише укріплює свої позиції з часом. Його використовують мільйони розробників у всьому світі. Оскільки C# розроблено Microsoft як частину їхньої сучасної платформи для розробки та виконання додатків .NET Framework, ця мова широко поширена серед орієнтованих на Microsoft компаній, організацій та окремих розробників. Мова C# і платформа .NET повністю обслуговуються та управляються корпорацією Майкрософт і не є відкритими для третіх осіб.

Розпочавшись на платформі Windows, C# розширив свою сферу застосування і зараз доступний на різних операційних системах, включаючи Mac OS, Linux, iOS та Android. Відкритий початковий код C# призвів до активного розвитку та розширення, зменшивши кількість обмежень на використання. Він рекомендується як одна з провідних мов для розробників у будь-якій галузі. [10]

Мова C# має потужний та універсальний інструментарій, що дозволяє вирішувати широкий спектр завдань: його часто розробляються веб-додатків, ігор, мобільних додатків для Android та iOS, а також додатків для платформи Windows. Завдяки багатству інструментів та засобів, можливості для розробки на C# практично не мають обмежень. У той час як інші мови програмування, деякі з яких є більш спеціалізованими і вимагають додаткових сторонніх інструментів, можуть вирішувати свої завдання, C# пропонує швидші, простіші і більш ресурсоефективні рішення для більш широкого спектру завдань.

За стандартом Ecma дизайн C# виконує такі цілі:

* він є простою, сучасною, об’єктно-орієнтованою мовою програмування загального призначення;
* забезпечує підтримку принципів розробки програмного забезпечення, таких як сильна перевірка типів, перевірка меж масиву,  виявлення спроб використання неініціалізованих змінних і автоматичне збирання сміття;
* мова призначена для використання в розробці програмних компонентів, придатних для розгортання в розподілених середовищах;
* підтримка інтернаціоналізації.

Основним поняттям C# є об'єктно-орієнтоване програмування (ООП). Методика ООП не відокремлена від С#, і тому всі програми на C# є об'єктно-орієнтованими хоча б найменшою мірою. Зараз ООП вважається найефективнішим підходом до програмування.

Об’єктно-орієнтовані програми організовані навколо даних, з головного принципу: "дані керують доступом до коду". В об'єктно-орієнтованій мові програмування визначаються дані та код, яким дозволяється впливати на ці дані. Отже, тип даних точно визначає операції, які можуть бути виконані над даними.

Для підтримки принципів ООП усі об'єктно-орієнтовані мови програмування, у тому числі і С#, повинні мати три загальні властивості: інкапсуляцію, поліморфізм і спадкування. [11]

Інкапсуляція – це механізм програмування, що поєднує разом код і дані, якими він маніпулює, виключаючи як втручання ззовні, так і неправильне використання даних. У ООП інкапсуляція здійснюється за допомогою об’єктів. Об’єкт – це елемент, що має певні властивості та поведінку. Форму об’єкта у C# визначає клас. Він описує дані, а також код, який ними оперуватиме. У C# опис класу служить для подальшої побудови об'єктів, які є екземплярами класу.

Поліморфізм – це властивість, що дозволяє одному інтерфейсу отримувати доступ до загального класу дій. Поняття поліморфізму у більш загальному сенсі виражається так: "один інтерфейс - безліч методів". Це означає, що з групи взаємозалежних процесів можна розробити загальний інтерфейс. Поліморфізм допомагає спростити програму, дозволяючи використовувати один і той же інтерфейс для опису загального класу дій. Вибрати конкретну дію (тобто метод) для кожного окремого випадку допомагає компілятор, що ще сильніше спрощує роботу програміста.

Спадкування являє собою процес, в ході якого один об'єкт набуває властивостей іншого об'єкта, що забезпечує ієрархію об’єктів. Це дозволяє визначити для об’єкта лише ті властивості, які роблять об'єкт особливим у його класі.

Метод у C# є членом класу, який може бути викликаний як функція. Як і в інших синтаксично подібних мовах, сигнатура методу - це оголошення, що містить: будь-які додаткові ключові слова доступності (такі як private), явну специфікацію його типу повернення (наприклад int), ім’я методу та послідовність специфікацій параметрів, розділених комами, у дужках, кожна з яких складається з типу параметра, його назви та, за бажанням, значення за замовчуванням.

У C# покажчики адреси пам’яті можна використовувати лише в межах блоків, спеціально позначених як небезпечні, а програми з небезпечним кодом потребують відповідних дозволів для запуску. Більшість доступу до об’єктів здійснюється через безпечні посилання на об’єкти, які завжди або вказують на «живий» об’єкт, або мають чітко визначене нульове значення.

Керовану пам'ять не можна явно звільнити; натомість автоматично збирається сміття. Збирання сміття вирішує проблему витоків пам’яті , звільняючи програміста від відповідальності за звільнення пам’яті, яка в більшості випадків більше не потрібна. [12]

Враховуючи всі перелічені пункти для написання програмного забезпечення було обрано мову програмування С#, яка є найбільш підходящою мовою програмування для розробки програмного продукту.

**1.4 Обґрунтування вибору середовища функціонування системи**

Середовищем функціонування програмного продукту обрана операційна система Wіndоws 10.

Windows 10 в порівнянні з іншими ОС має багато технічних переваг, що роблять цю операційну систему досить потужною і функціональною для своїх користувачів. До цих переваг відносяться:

* звичний та інтуїтивно зрозумілий дизайн;
* підтримка кількох робочих столів;
* підтримка операційної системи на різних типах ПК та переносних пристроях;
* адекватні системні вимоги;
* підтримка нових технологій;
* можливість легко перемикатися між різними вікнами та програмами, працювати з ними одночасно та зручно організовувати робочий стіл;
* покращена безпека, включаючи удосконалений захист від шкідливих програм та шифрування даних;
* покращений центр діяльності, що групує всю важливу інформацію та повідомлення у одному місці. [13]

Windows 10 в порівнянні з іншими своїми версіями має наступні переваги:

* удосконалена продуктивність. Windows 10 має багато оптимізована, що поліпшує продуктивність під час розробки програм;
* широкий набір інтегрованих інструментів розробки. Windows 10 сумісна з багатьма найкращими інструментами розробки, такими як Microsoft Visual Studio, який є одним з найпоширеніших ІDE для розробки програмного забезпечення. Інші популярні інструменти, такі як PowerShell, Git, SSH тощо, також доступні для розробників;
* легкість розгортання. Windows 10 має простий процес розгортання програм на пристроях з цією операційною системою. Розробники можуть легко розповсюджувати та установлювати свої програми на Windows Store;
* сумісність з попередніми версіями. Windows 10 залишається сумісним з багатьма існуючими програмами та додатками, розробленими для попередніх версій Windows. Це означає, що програміст можете легко розробляти та тестувати нові програми на Windows 10, не хвилюючись про сумісність зі старими версіями операційної системи;
* підтримка громадських стандартів. Windows 10 активно підтримує громадські стандарти, такі як HTML, CSS, JavaScript та інші. Це дозволяє програмістам використовувати відкриті технології та стандарти для розробки програм на Windows 10.

Таким чином, Windows 10 – потужна і функціональна операційна система, яка має багато технічних переваг та володіє усіма функціями, що є необхідними для розробки програмного продукту, та відповідає усім поставленим вимогам.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/Диференціальні\_рівняння
2. https://uk.wikipedia.org/wiki/Чисельні\_методи
3. https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод\_Ейлера
4. https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод\_Рунге\_—\_Кутти
5. https://uk.wikipedia.org/wiki/Метод\_Адамса
6. https://visualstudio.microsoft.com
7. https://dotnet.microsoft.com/en-us/
8. https://visualstudiomagazine.com/articles/2018/05/01/net-framework-update.aspx
9. https://www.geeksforgeeks.org/common-language-runtime-clr-in-c-sharp
10. Основи комп’ютерного програмування на C#, Світлін Наков, 2019
11. [Книга C# 4.0: повний посібник, Герберт Шилдт](https://www.amazon.com/4-0-Complete-Reference-Herbert-Schildt-ebook/dp/B003QP3XIM/ref=sr_1_1?crid=15D67V9VE0XUE&keywords=C%23+4.0+The+Complete+Reference+Herbert+Schildt&qid=1663588552&sprefix=c+4.0+the+complete+reference+herbert+schildt%2Caps%2C131&sr=8-1), 2019
12. https://en.wikipedia.org/wiki/C\_Sharp\_(programming\_language)
13. https://en.wikipedia.org/wiki/Windows\_10