

Міністерство освіти і науки України  
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка  
Фізико-математичний факультет  
Кафедра комп'ютерних наук

Дипломна робота  
з теми: **“Механізм перезапуску алгоритмів числової реалізації  
інтегральних операторів Вольтерри”**

Виконав:

студент 2 курсу ступеня вищої освіти магістр групи  
KN1-M20 спеціальності 122 Комп'ютерні науки

Лоборчук Олександр Вікторович

Керівник:

Іванюк В.А., доктор технічних наук, доцент, доцент  
кафедри інформатики

Рецензент:

Оптасюк С.В., кандидат фізико-математичних наук,  
доцент, доцент кафедри фізики

Кам'янець-Подільський – 2021 р.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ .....	6
1.1. Типові математичні моделі .....	6
1.1.1 Передатна функція.....	7
1.1.2 Диференціальні моделі .....	9
1.1.3 Інтегральні моделі .....	11
1.2. Переваги та недоліки застосування динамічних моделей. ....	13
1.2 Застосування методу квадратурних формул для моделювання інтегральних моделей Вольтерри.....	19
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ТА МОЖЛИВІСТЬ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ. ....	23
2.1. Моделювання динамічних систем в середовищі MATLAB та Simulink.....	23
2.2 Розгляд існуючих платформ для розробки Arduino .....	26
2.2.2 Опис платформи Arduino Uno.....	27
2.2.3 Програмування Arduino Uno .....	30
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕЗАПУСКУ ІНТЕГРАЛЬНИХ ОПЕРАТОРІВ ВОЛЬТЕРРИ ТА ПРОВЕДЕННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ .....	32
3.1 Розробка засобів та проведення обчислювальних експериментів в середовищі MATLAB .....	32
3.2 Розробка засобів та проведення обчислювальних експериментів в середовищі Simulink .....	40

3.3 Проведення обчислювальних експериментів за допомогою апаратної платформи Arduino.....	42
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46
ДОДАТКИ.....	48
Додаток А.....	48
Додаток Б.....	49
Додаток В.....	52

## ВСТУП

Швидкий розвиток комп'ютерно-інтегрованих систем зумовлює необхідність розробки та впровадження ефективних математичних та комп'ютерних моделей. Основною вимогою до таких моделей є забезпечення можливості роботи систем в реальному часі за обмежених обчислювальних ресурсів, тому створення та вибір форм еквівалентних математичних моделей та розробкою алгоритмів для їх ефективної числової реалізації є актуальною задачею.

Апарат інтегральних рівнянь є потужним засобом математичних досліджень, включаючи аналітичні, якісні та наближені методи дослідження. Незважаючи на широку поширеність диференціальних співвідношень і рівнянь, як способу математичного моделювання, інтегральні співвідношення та рівняння вже знайшли свою досить велику сферу застосування, що включає в себе механіку, теоретичну фізику, електротехніку, теорію регулювання та багато інших розділів технічних наук. Сьогодні інтегральні співвідношення використовуються як і детермінованому аналізу, і у імовірнісних дослідженнях.

Ключовим недоліком застосування інтегральних моделей є накопичення кількості обчислень, що в багатьох випадках, унеможливує їх використання в системах реального часу. Тому розробка алгоритмів числової реалізації динамічних інтегральних моделей із забезпеченням сталої кількості обчислювальних процедур є актуальною задачею.

**Метою роботи** є розробка механізму перезапуску для числової реалізації інтегральних операторів Вольтерри.

### **Завдання дослідження:**

- аналіз алгоритмів числової реалізації інтегральних моделей;
- аналіз програмних засобів математичного моделювання динамічних систем та можливість їх використання в системах реального часу;
- розробка механізму перезапуску інтегральних операторів Вольтерри;
- проведення обчислювальних експериментів;

**Об'єктом роботи** є динамічні процеси в системах реального часу.

**Предметом дослідження** є методи та засоби математичного моделювання динамічних процесів на основі інтегральних операторів Вольтерри.

**Програмне забезпечення:** реалізація механізму перезапуску відбувалась за допомогою моделюючого середовища Matlab, пакету SimuLink та апаратно обчислювальної платформи Arduino.

**Практичне значення** дипломної роботи: розроблені програмні засоби можуть використовуватись для проектування комп'ютерно-інтегрованих систем, які призначені для керування динамічними процесами, що описуються динамічними математичними моделями першого порядку.

**Наукова новизна.** Набули подальшого розвитку методи числової реалізації інтегральних операторів Вольтерри, які полягають в застосуванні перезапуску обчислювального процесу, що дозволило використовувати математичні моделі динамічних систем у формі інтегрального оператора Вольтерри для проектування систем реального часу.

## ВИСНОВКИ

В дипломній роботі було проведено аналіз алгоритмів числової реалізації інтегральних моделей та аналіз програмних засобів математичного моделювання динамічних систем та можливість їх використання в системах реального часу.

Проведений аналіз алгоритмів числової реалізації інтегральних моделей показав, що модель однієї і тієї ж системи в залежності від мети дослідження може бути різною. Тому при розв'язуванні задачі потрібно визначити модель, яка найбільше підходить. Було розглянуто основні математичні моделі, а саме диференціальні рівняння, інтегральні рівняння та передавальна функція, визначено їх властивості та види.

При аналізі програмних засобів було розглянуто пакет прикладних програм MATLAB, інтерактивний інструмент для моделювання Simulink та апаратну обчислювальну платформу для конструювання Arduino. Було виявлено основні переваги та недоліки при роботі з кожним програмним засобом. Досліджено технічну та програмну складові плати Arduino Uno.

В дипломній роботі було розроблено механізм перезапуску інтегрального оператора Вольтерри методом квадратур та проведено ряд обчислювальних експериментів в програмних засобах MATLAB, Simulink та Arduino Uno.

Проведенні обчислювальні експерименти показали, що розроблений метод перезапуску забезпечує значно вищу швидкість обрахунків та дозволяє його використовувати в системах реального часу, зокрема таких, які побудовані на базі плати Arduino.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Arduino Uno [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardUno>.
2. Бугрій О.М.; Процах Н.П.; Бугрій Н.В. (2011 р.). Основи диференціальних рівнянь: теорія, приклади та задачі : Навчальний посібник. Львів.
3. В. С. Владимиров, В. В. Жаринов. Уравнения математической физики. — М.: Физматлит, 2004.
4. Диференціальні рівняння : навч. посіб. / [Каленюк П. І. та ін.] ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2014. - 378 с.
5. Диференціальні рівняння : навч. посіб. / Головатий Ю. Д., Кирилич В. М., Лавренюк С. П.; Львів. нац. ун-т ім. Івана Франка. - Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2011. - 468 с.
6. Диференціальні рівняння : навч. посіб. / Т. П. Гой, О. В. Махней ; Прикарпат. нац. ун-т ім. Василя Стефаника. - Івано-Франківськ : Сімик, 2012. - 351 с.
7. Диференціальні та інтегральні рівняння : підручник / Кривошея С.А., Перестюк М.О., Бурим В.М. - К. : Либідь, 2004. - 407 с. [диф рівняння]
8. Енциклопедія кібернетики : у 2 т. / за ред. В. М. Глушков — Київ : Гол. ред. Української радянської енциклопедії, 1973.
9. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування: Підручник. — Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. — 2003. — 250 с. [передавальна функція]
10. Лазарев Ю. Ф. MATLAB і моделювання динамічних систем / Київ, 2009. – 79 с.
11. Лінійні динамічні системи і звичайні диференціальні рівняння : навч. посібник / П. М. Гащук. - Львів : Українські технології, 2002. - 607 с.
12. М. Л. Краснов. Интегральные уравнения: введение в теорию. — М.: Наука, 1975.
13. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: [https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/13889/mod\\_resource/content/1/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D0%B4\\_2.pdf](https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/13889/mod_resource/content/1/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D0%B4_2.pdf)

14. Стельмашонок Е. В. Моделирование процессов и систем / Е. В. Стельмашонок. – Москва: Юрайт, 2017. – 289 с.
15. Федорчук В.А., Іванюк В.А., Верлань Д.А. Інтегральні рівняння в задачах математичного моделювання: навчальний посібник. Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2014. – 144 с.