**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ЧЕРКАСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІМЕНІ БОГДАНА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО**

Навчально-науковий інститут інформаційних та освітніх технологій

Кафедра прикладної математики та інформатики

Спеціальність 113 Прикладна математика

Освітня програма «Прикладна математика»

До захисту допускаю

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_О.В. Піскун\_\_

(ініціали, прізвище)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

освітнього ступеня бакалавр

**ТЕМА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

**Студент групи** \_ПМ-4 \_\_\_Петренко Іван Петрович\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(шифр групи) (прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

**Науковий керівник** \_\_\_д.т.н., доц. Головня Б.П.\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Черкаси – 2024

Зміст розташовують безпосередньо після переліку скорочень (якщо в них є необхідність) та умовних позначень, починаючи з нової сторінки за номером 2.

Сторінки, на яких розміщено рисунки й таблиці, охоплюють загальною нумерацією сторінок роботи.

Для написання роботи використовують шрифт тексту – Times New Roman; розмір шрифту (кегль, вимірюється в пунктах) – 14 пт; міжрядковий інтервал – 1,5.

Текст роботи необхідно друкувати, залишаючи береги таких розмірів: ліве – 25 мм, праве – 15 мм, верхнє – 20 мм, нижнє – 20 мм.

Відступ у абзацах повинен бути однаковим впродовж усього тексту і дорівнювати 1 см.

**У тексті роботи обов’язково мають бути посилання на літературні джерела, наприклад:**

Bootstrap є відкритим та безкоштовним HTML, CSS та JS фреймворком, який використовується веб-розробниками для швидкої верстки адаптивних дизайнів сайтів та веб-додатків [5].

**ЗМІСТ**

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ** 4

**ВСТУП** 5

**РОЗДІЛ 1.** ПОСТАНОВКА ТА ТРАДИЦІЙНЕ РОЗВ’ЯЗУВАННЯ   
ЗАДАЧІ *N*-ТІЛ 6

1.1 Математична постановка задачі 6

1.2 Задача двох тіл 7

1.3 Задача трьох тіл 7

1.4 Чисельний метод розв’язування задачі *N*-тіл 8

**РОЗДІЛ 2.** АЛГОРИТМ БАРНСА-ХАТА 12

2.1 Призначення та загальна ідея алгоритму 12

2.2 Опис основних етапи алгоритму Барнса-Хата 13

2.2.1 Побудова дерева з тіл 14

2.2.2 Розрахунок результуючої сили 16

2.3 Розпаралелювання алгоритму Барнса-Хата 19

2.3.1 Паралельне обчислення сил і переміщення 21

2.3.2 Паралельна побудова дерева та синхронізація потоків 22

**РОЗДІЛ 3.** ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ЕКСПЕРИМЕНТИ 23

3.1 Визначення похибки 23

3.2 Графічна візуалізація 25

3.3 Результати комп’ютерного моделювання 27

**ВИСНОВКИ** 40

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ** 41

**ДОДАТОК А** 42

**ДОДАТОК Б** 43

**ВСТУП**

Вступ – компонент наукової праці, в якому обґрунтовується необхідність проведення дослідження, розкривається ступінь розробки проблеми і значущість теми, підстави і вихідні дані для її дослідження.

***Актуальність теми****.* Тут слід зазначити доцільність проведеного дослідження, мотивуючи існуючим (чи неіснуючим) рівнем сучасних досліджень, інтересом певних категорій споживачів (науки, виробництва, населення тощо).

***Метою*** кваліфікаційної роботи є … формулюється мета роботи

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні ***завдання***:

1) розглянути / ознайомитися з … ;

2) реалізувати / провести аналіз … ;

3) розробити … ;

4) дослідити … ;

5) створити … ;

6) експериментально перевірити

…

***Об’єктом*** дослідження є … формулюється об’єкт дослідження (це процес або явище, що породжує проблему й обране для дослідження)

***Предметом*** дослідження виступає … формулюється предмет дослідження (деталізує конкретну проблему, його виділяють у межах об’єкта як складову частину).

***Методи дослідження****.* Автор роботи має чітко окреслити всі використані у дослідженні методи для досягнення поставленої мети і завдань. Це має бути не звичайний номенклатурний перелік методів, а коротка й змістовна їх характеристика щодо конкретного застосування (що вивчалося за допомогою того чи того методу). Вибір методів повинен логічно випливати із змісту роботи, адекватно розкривати об’єкт і предмет дослідження.

***Наукова новизна одержаних результатів****.* Викладають наукові положення роботи із зазначенням, що нового досягнуто автором, який рівень цієї новизни (вперше розроблено, удосконалено, дістало подальший розвиток, обґрунтовано тощо). Не можна в цей пункт включати нові практичні результати (способи, пристрої, методики, схеми, алгоритми і т.п.). Ця частина є необов’язковою для бакалаврських робіт.

***Практичне значення одержаних результатів****.* Відомості про практичне застосування результатів, а також рекомендації щодо використання одержаних результатів. Може включати коротку інформацію про впровадження результатів дослідження із зазначенням назв організацій, де здійснювалося це впровадження, форм реалізації та реквізитів відповідних документів.

***Апробація результатів роботи****.* Указується, на яких конференціях, семінарах, засіданнях тощо оприлюднено результати дослідження. При цьому зазначається тема, місце й дата проведення конференції. Тут же зазначається, у скількох статтях (тезах) опубліковані результати роботи.

**РОЗДІЛ 1**

**ПОСТАНОВКА ТА ТРАДИЦІЙНЕ РОЗВ’ЯЗУВАННЯ   
ЗАДАЧІ *N*-ТІЛ**

**1.1 Математична постановка задачі**

Гравітаційна задача *N*-тіл (англ. *N*-body problem) була вперше сформульована Ньютоном в його монументальній праці «Математичні початки натуральної філософії», яка вперше була видана друком у 1687 році.

**…**

Зразок малюнка у тексті курсової роботи наведено на рис. 1.6.

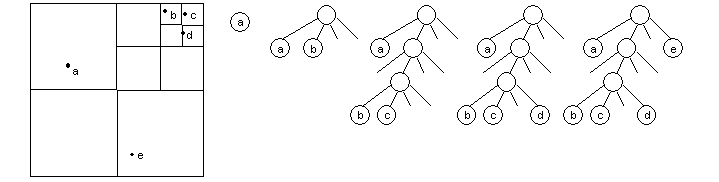


Рис. 1.6 Робота функції вставки на площині (зліва)

та за допомогою дерева (справа)

Зразок формули у тексті курсової роботи виглядає наступним чином:

, , (1.3)

де  – координата -ого тіла,  – швидкість -ого тіла (м·с–1),  – час (с),  – маса -ого тіла (кг),  – гравітаційна стала (м3·кг–1·с–2).

**…**

Зразок таблиці у тексті курсової роботи виглядає наступним чином:

*Таблиця 2.1*

Порівняльний аналіз часу розв’язування задачі *N-*тіл

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Кількість тіл | Базовий варіант, с | Варіант із застосуванням  РК4, с |
| 100 | 0,533 | 2,804 |
| 1000 | 12,82 | 71,92 |
| 2000 | 27,96 | 151,45 |
| 5000 | 78,32 | 391,5 |

Посилання у тексті роботи

… у роботах [1-7] наведено …

… як зазначено у [4] …

… у розділі 4 …

… на рис. 1.3 …

… у табл. 3.2 … або (див. табл. 3.2)

… за формулою (3.1) …

… у рівняннях (1.7) – (1.9) …

… у додатку Б …

**ВИСНОВКИ**

У кваліфікаційній роботі … описати, що зроблено (Висновки містять викладення найважливіших наукових та практичних результатів, одержаних у результаті проведеного дослідження. Пункти висновків мають бути лаконічними, змістовними, вони повинні читатися і сприйматися легко й однозначно).

Основні результати проведеної роботи полягають у наступному.

1. Наведено … .

2. Розглянуто … .

3. Реалізовано … .

4. Розроблено … .

5. Запропоновано … .

6. Досліджено … .

7. Здійснено … .

**Список використаних джерел**

1. Савченко А.С., Синельніков О.О. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посібн. К.: НАУ, 2017. – 190 с.

2. Spring Framework [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Spring\_Framework. – Назва з екрану.

3. Олійник А. О. Еволюційні обчислення та програмування: Навчальний посібник / А. О. Олійник, С. О. Субботін, О. О. Олійник. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2010. – 324 с.

**ДОДАТОК А**

**Реалізація паралельного алгоритму Барнса-Хата**

void add\_body(node\_t \*node, const body\_t body, const point\_t min, const point\_t max){

omp\_set\_lock(&node->lock);

if ( node->mass < EPS ){

memcpy ( node, &body, sizeof(body\_t) );

node->is\_body = true;

omp\_unset\_lock(&node->lock);

return;

}

if ( node->is\_body ){

node->is\_body = false;

push\_to\_children( node, \*node, min, max );

}

node->x \*= node->mass;

node->y \*= node->mass;

node->x += body.x \* body.mass;

node->y += body.y \* body.mass;

node->mass += body.mass;

node->x /= node->mass;

node->y /= node->mass;

push\_to\_children(node, body, min, max );

omp\_unset\_lock(&node->lock);

}