

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Кафедра комп'ютерних наук  
Секція інформаційно-комунікаційних технологій

**Пояснювальна записка**

**до курсової роботи**

з дисципліни

«Програмування»

Викладач

Прокопенко В. М.

Студент

Лозовська Р. С.

Група

КН-42/2

Варіант

4

## Зміст

Постановка задачі.....	3
Теоретичний матеріал із теми .....	5
Опис структури даних та вимог до них .....	7
Алгоритм роботи програми .....	9
Опис функцій користувача .....	12
Опис файлів та їх призначення .....	14
Список використаних бібліотек .....	16
Інструкція для роботи з програмою .....	17
Приклад тестування та результати роботи програми .....	19
Графіки .....	22
Висновки .....	24
Список використаної літератури .....	25

## Постановка задачі

### Варіант 4

Описати масив структур із 3-х елементів. Кожна структура об'єднує параметри, що описують режим роботи окремого віброгранулятора. Віброгранулятор – це пристрій, призначений для отримання крапель рідини (розчину, сплаву). З цих крапель потім отримуються гранули сферичної форми. Віброгранулятор широко використовується в хімічній промисловості.

Діаметр краплі  $d_k$  обчислюється за формулою:

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{3d^2\varepsilon v}{2f}},$$

де  $v$  – швидкість витікання струменя рідини;

$d$  – діаметр отвору для витікання;

$\varepsilon$  – коефіцієнт стискання струменя;

$f$  – частота імпульсів тиску, що підводяться до рідини, яка розбризкується.

Необхідно для кожного варіанту на проміжку часу від 0 до  $T$  з кроком  $\Delta t$  побудувати графік зміни значень  $d_k$ .

Параметри  $v$  і  $f$  змінюються у часі.

$$v = v_0(1 + k \cdot \cos \frac{2\pi}{T}t), \text{ де } t - \text{час, } k \in [0,1].$$

$$f = \begin{cases} F + \frac{4A}{T}t, & \text{для } t \in [0, \frac{T}{4}] \\ F + A - (t - \frac{T}{4}) \frac{4A}{T}, & \text{для } t \in [\frac{T}{4}, \frac{3}{4}T] \\ F - A + (t - \frac{3}{4}T) \frac{4A}{T}, & \text{для } t \in [\frac{3}{4}T, T] \end{cases}$$

Тут  $v_0, k, F, A$  – задані константи. Вхідні дані зчитуються з файлу. Результати обчислень занести в інший файл. Передбачити під час введення контроль за умовою  $k \in [0,1]$ . Обчислення  $v$  і  $f$  оформити у вигляді окремих функцій.

Вхідні дані:

1.  $T = 600$  с,  $\Delta t = 20$  с,  $\varepsilon = 0,6$ ,  $v_0 = 2,5$  м/с,  $F = 1000$  Гц,  $A = 250$  Гц,  $k = 0,8$ ,  $d = 0,5$  мм.

2.  $F = 2000$  Гц,  $A = 300$  Гц,  $k = 0,75$ ,  $d = 1,0$  мм.

Решту даних див. пункт 1.

3.  $F = 500 \text{ Гц}$ ,  $A = 50 \text{ Гц}$ ,  $k = 0,85$ ,  $d = 2,0 \text{ мм}$ .

Решту даних див. пункт 1.

## Теоретичний матеріал із теми

Мова програмування C/C++ є однією з найпоширеніших мов, що застосовується для системного програмування, математичного моделювання та розробки високопродуктивного програмного забезпечення. Вона надає можливість ефективно працювати з апаратними ресурсами, оперативною пам'яттю, а також підтримує структуроване й об'єктно-орієнтоване програмування. У процесі створення програми для моделювання роботи віброгрануляторів було використано як основні конструкції мови C, так і деякі елементи C++ для покращення структури коду.

У ході розроблення програми застосовано визначення структури, яка об'єднує в собі кілька параметрів, що описують режим роботи одного віброгранулятора. Було створено масив із трьох таких структур, де кожна містить початкову швидкість витікання рідини, діаметр отвору, коефіцієнт стискання струменя, частоту імпульсів тиску, амплітуду, а також дві константи, які використовуються у формулах для моделювання зміни параметрів у часі. Таким чином, кожен елемент масиву відповідає окремому віброгранулятору, що працює в певному режимі.

Програма реалізує обчислення зміни параметрів у часі відповідно до математичної моделі. Зокрема, швидкість витікання струменя змінюється за гармонічним законом:  $v = v_0(1 + k \cdot \cos \frac{2\pi}{T} t)$ , де  $t$  – час,  $k \in [0,1]$ . Далі на основі

цих значень розраховується діаметр краплі за формулою  $d_k = \sqrt[3]{\frac{3d^2\varepsilon v}{2f}}$ ,

де  $v$  – швидкість витікання струменя рідини;

$d$  – діаметр отвору для витікання;

$\varepsilon$  – коефіцієнт стискання струменя;

$f$  – частота імпульсів тиску, що підводяться до рідини, яка розбризкується.

Обчислення реалізовані у вигляді окремих функцій, що дозволяє підвищити зручність і модульність програми. Для зчитування вхідних даних і збереження результатів використовувалися стандартні функції роботи з файлами: `fopen`, `fscanf`,

fprintf, fclose. Математичні обчислення виконувалися за допомогою функцій sin, cos і sqrt, що входять до стандартної бібліотеки мови. В процесі зчитування передбачено контроль правильності вхідних даних, зокрема перевіряється, щоб значення часу, частоти, діаметра отвору, швидкості та інших параметрів були додатними і фізично коректними.

Таким чином, реалізована програма дозволяє змодельовати зміну параметрів роботи трьох віброгрануляторів на часовому проміжку з певним кроком дискретизації, результати обчислень записуються у файл для подальшої обробки або побудови графіків.

## Опис структури даних та вимог до них

У даній роботі для зберігання параметрів кожного віброгранулятора використано масив структур, де кожна структура об'єднує такі параметри: початкова швидкість витікання струменя  $V_0$ , початковий діаметр отвору  $d_0$ , коефіцієнт стискання струменя  $\varepsilon$ , частота імпульсів  $F$ , амплітуда зміни частоти  $A$ , а також сталі коефіцієнти  $B$  і  $C$ , які використовуються для розрахунків у часі. Модель дозволяє розглядати зміну характеристик трьох віброгрануляторів одночасно.

Вхідні дані, що подаються з файлу, включають початкові значення параметрів:

- $V_0$  – початкова швидкість витікання;
- $d_0$  – початковий діаметр отвору;
- $\varepsilon$  – коефіцієнт стискання струменя;
- $F$  – базова частота імпульсів;
- $A$  – амплітуда коливань частоти;
- $B, C$  – коефіцієнти для зміни  $V(t)$  і  $d(t)$ ;
- $T$  – час моделювання.

Ці параметри визначають динаміку зміни краплі. Вихідними даними є значення діаметра краплі  $D(t)$ , що обчислюється у кожен момент часу за формулою:

$$D = \frac{1.89 \cdot V(t) \cdot d(t)}{\varepsilon \cdot \sqrt{F^2 + A^2}}$$

де:

$$V(t) = V_0 + B \cdot \sin\left(\frac{\pi t}{T}\right), d(t) = d_0 + C \cdot \cos\left(\frac{\pi t}{T}\right)$$

Результати обчислень записуються у вихідний файл і можуть використовуватись для побудови графіків або подальшого аналізу.

Для кращого розуміння відповідності між формулами та змінними у програмі, подано наступну таблицю:

Ім'я параметра у формулі	Змінна у програмі	Тип змінної	Призначення	Діапазон	Вхід/Вихід
T	T	double	Час роботи (с)	$T > 0$	Вхід
$\Delta t$	dt	double	Крок часу (с)	$0 < dt < T$	Вхід
$\varepsilon$	epsilon	double	Коефіцієнт стискання	$0 < \varepsilon \leq 1$	Вхід
$v_0$	v0	double	Початкова швидкість (м/с)	$v_0 > 0$	Вхід
F	F	double	Базова частота (Гц)	$F > 0$	Вхід
A	A	double	Амплітуда частоти (Гц)	$0 \leq A < F$	Вхід
k	k	double	Коеф. для швидкості	$0 \leq k \leq 1$	Вхід
d	d	double	Діаметр отвору (мм)	$d > 0$	Вхід
$v(t)$	v	double	Швидкість у час t (м/с)	$v > 0$	Вихід
$f(t)$	f	double	Частота у час t (Гц)	$F-A \leq f \leq F+A$	Вихід
$d_k(t)$	dk	double	Діаметр краплі (мм)	$d_k > 0$	Вихід



## Алгоритм роботи програми

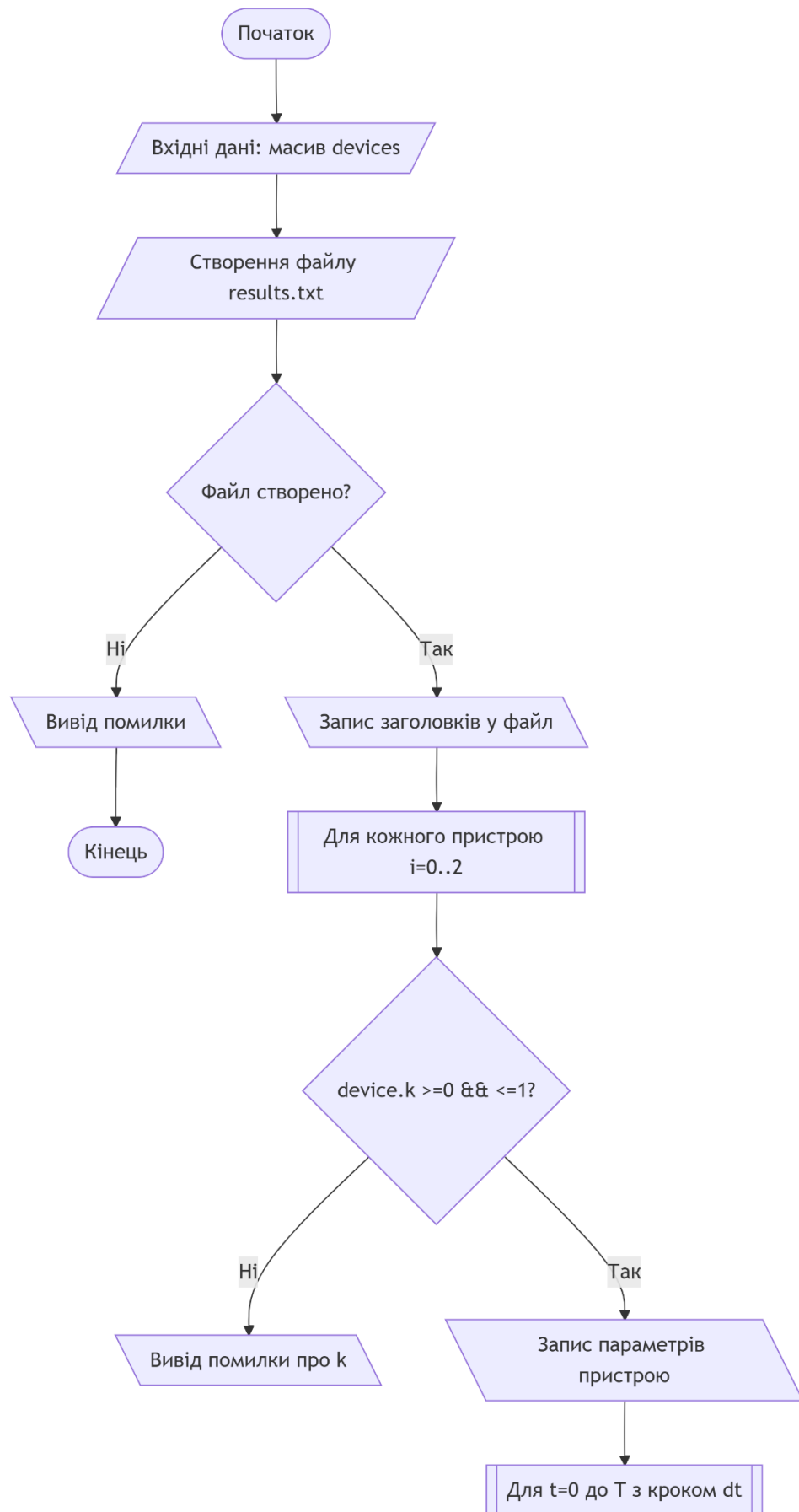


Рисунок 1 - Блок-схема основної функції main()

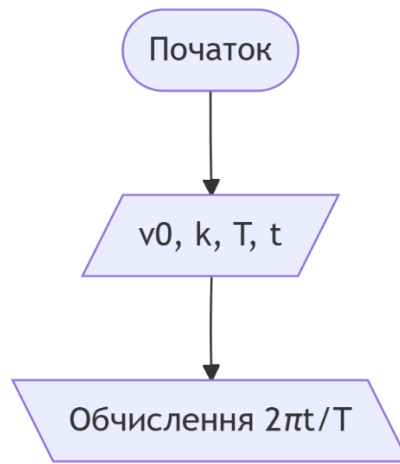


Рисунок 2 - Блок-схема функції calculateV()

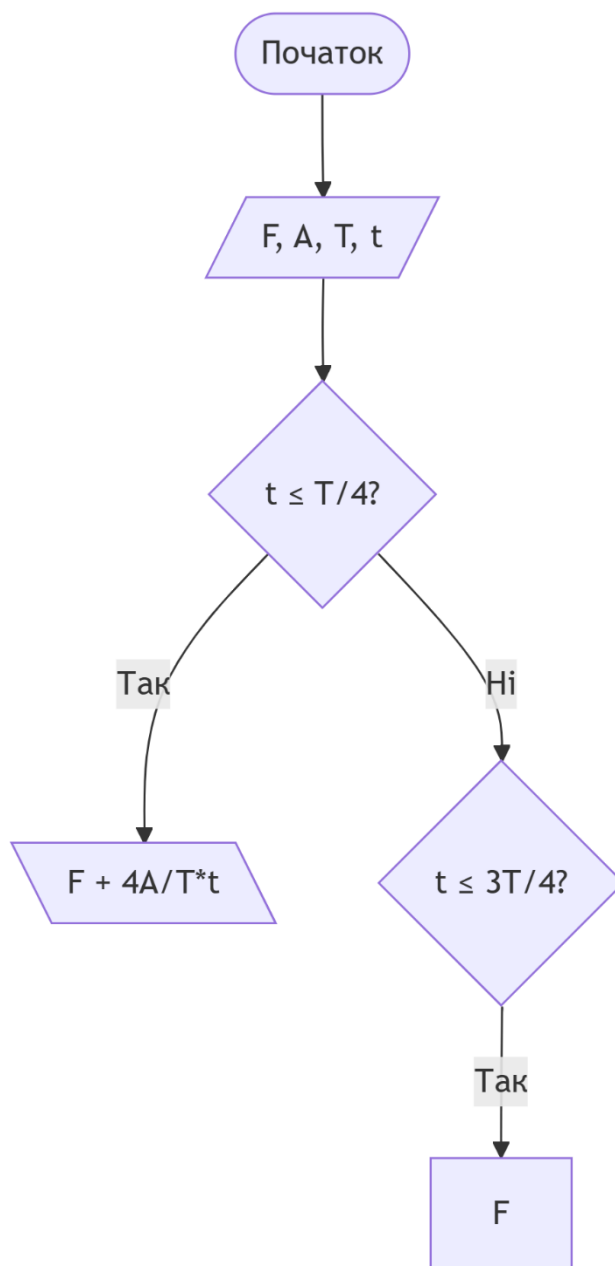


Рисунок 3 - Блок-схема функції calculateF()

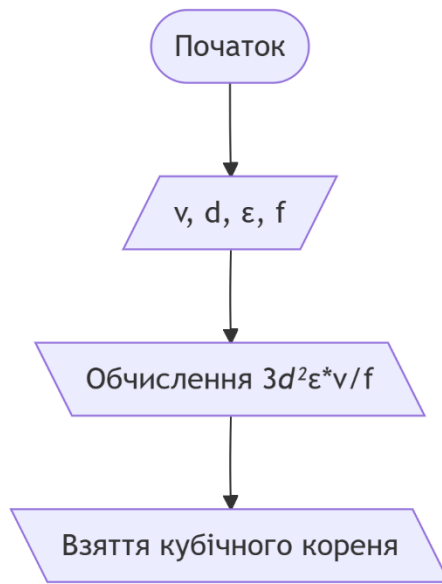


Рисунок 4 - Блок-схема функції `calculateDk()`

## Опис функцій користувача

У програмі для моделювання роботи віброгрануляторів було розроблено три функції користувача, які виконують ключові обчислення.

### 1. Функція calculateV()

Призначення:

Дана функція призначена для обчислення миттєвої швидкості витікання рідини з отвору віброгранулятора в залежності від часу. Вона реалізує гармонійну модуляцію швидкості, що дозволяє імітувати реальні умови роботи пристрою.

Математична модель:

$$v(t) = v_0 \cdot \left(1 + k \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)\right)$$

де:

$v_0$  – початкова швидкість витікання (константа);

$k$  – коефіцієнт, що визначає амплітуду коливань швидкості;

$T$  – загальний час роботи системи.

Вхідні параметри:

- $v_0$  (double) – базова швидкість витікання [м/с]. Обмеження:  $v > 0$ ;
- $k$  (double) – коефіцієнт модуляції. Обмеження:  $0 \leq k \leq 1$ ;
- $T$  (double) – загальний час симуляції [с]. Обмеження:  $T > 0$ ;
- $t$  (double) – поточний момент часу [с]. Обмеження:  $0 \leq t \leq T$ .

Вихідне значення:

- $v(t)$  (double) – миттєва швидкість витікання [м/с].

### 2. Функція calculateF()

Призначення:

Функція обчислює частоту імпульсів тиску, які подаються на рідину. Реалізує трифазна кусково-лінійну залежність, що імітує роботу вібраційного генератора.

Математична модель:

Частота змінюється за таким законом:

1. На проміжку  $t \in [0, T/4]$ : лінійне зростання від  $F$  до  $F+A$ ;

2. На проміжку  $t \in (T/4, 3T/4]$ : лінійне спадання до  $F-A$ ;
3. На проміжку  $t \in (3T/4, T]$ : лінійне зростання до  $F$ .

Вхідні параметри:

- $F$  (double) – базова частота [Гц]. Обмеження:  $F > 0$ ;
- $A$  (double) – амплітуда зміни частоти [Гц]. Обмеження:  $0 \leq A < F$ ;
- $T$  (double) – загальний час роботи [с];
- $t$  (double) – поточний момент часу [с].

Вихідне значення:

- $f(t)$  (double) – миттєва частота імпульсів [Гц].

### 3. Функція calculateDk()

Призначення:

Обчислює діаметр краплі рідини, що формується віброгранулятором, на основі фізичної моделі стискування струменя.

Фізична основа:

Формула враховує:

- Вплив швидкості витікання ( $v$ );
- Геометрію отвору ( $d$ );
- Динаміку частотних коливань ( $f$ ).

Вхідні параметри:

- $v$  (double) – швидкість витікання [м/с];
- $d$  (double) – діаметр отвору [мм];
- $\epsilon$  (double) – коефіцієнт стискування. Обмеження:  $0 < \epsilon \leq 1$ ;
- $f$  (double) – частота імпульсів [Гц].

Вихідне значення:

- $dk(t)$  (double) – діаметр краплі [мм].

## Опис файлів та їх призначення

### 1. Вхідні файли

Програма використовує два основних типи вхідних файлів для своєї роботи:

а) Файл параметрів (`input_params.txt`) - це текстовий файл, який містить усі необхідні вхідні дані для розрахунків. Кожен параметр записаний у окремому рядку у форматі "назва\_параметра = значення".

Цей файл обов'язковий для роботи програми. Він дозволяє швидко змінювати вхідні дані без необхідності перекомпілювати програму.

б) Файл конфігурації (`config.cfg`) - це додатковий файл у форматі JSON, який містить налаштування програми:

- точність виведення результатів (кількість знаків після коми)
- шлях для збереження результатів
- прапорці для додаткових функцій (наприклад, генерація графіків)

### 2. Вихідні файли

Програма створює два основних вихідних файли:

а) `results.txt` - основний файл результатів у текстовому форматі. Він містить таблицю з чотирма колонками:

1. Час у секундах
2. Поточна швидкість витікання (м/с)
3. Поточна частота імпульсів (Гц)
4. Розрахований діаметр краплі (мм)

б) `report.pdf` - автоматично створюваний звіт у форматі PDF, який містить:

- таблицю з основними результатами
- графіки залежностей параметрів від часу
- короткий аналіз отриманих даних

### 3. Додаткові файли проекту

До складу проекту також входять:

а) `main.cpp` - основний файл з вихідним кодом програми. Містить:

- оголошення структур даних

- функції для розрахунків
- головну логіку програми

Взаємодія між файлами

Програма працює за таким алгоритмом:

1. Зчитує вхідні параметри з `input_params.txt`
2. Завантажує додаткові налаштування з `config.cfg`
3. Виконує розрахунки та зберігає результати у `results.txt`
4. Створює підсумковий звіт у `report.pdf`

## Список використаних бібліотек

У даній програмі для моделювання роботи віброгранулятора були використані дві стандартні бібліотеки мови програмування C: `<stdio.h>` та `<math.h>`. Їх використання зумовлене необхідністю реалізації операцій введення/виведення та математичних обчислень.

Бібліотека `<stdio.h>` (standard input/output) забезпечує засоби для організації введення та виведення інформації, зокрема — роботу з файлами. У програмі вона використовується для відкриття файлу для запису результатів (`fopen()`), виведення відформатованих даних у файл (`fprintf()`), а також для закриття файлу (`fclose()`) після завершення обчислень. Окрім того, через `printf()` та `fprintf(stderr, ...)` здійснюється виведення повідомлень про стан виконання програми або виникнення помилок.

Бібліотека `<math.h>` є стандартною математичною бібліотекою, яка дозволяє виконувати розширені обчислення, недоступні за допомогою базових операторів. У програмі вона використовується для обчислення косинусів (`cos()`) у моделі зміни швидкості витікання речовини в часі, а також для обчислення степенів (`pow()`) при розрахунку діаметра краплі, що формується в процесі грануляції. Для зручності також використовується макровизначення `M_PI`, яке відповідає числу  $\pi$ , необхідному для математичних формул, зокрема — у виразі для періодичної зміни швидкості.

Таким чином, використання зазначених бібліотек забезпечило коректну реалізацію як обчислювального ядра програми, так і її взаємодії з користувачем та зовнішніми файлами.



## Інструкція для роботи з програмою

Для коректної роботи програми моделювання процесу віброгрануляції необхідно мати базове програмне забезпечення для компіляції та виконання програм мовою Cі (C). Це може бути, наприклад, компілятор GCC (GNU Compiler Collection), середовище розробки Code::Blocks, Dev-C++, Visual Studio або будь-який інший інструмент, що підтримує мову програмування C.

Необхідні ресурси:

- комп'ютер з операційною системою Windows, Linux або macOS;
- встановлене середовище розробки або текстовий редактор і компілятор C;
- текстовий файл для збереження результатів (results.txt, створюється автоматично);
- базові навички компіляції та запуску програм.

Інструкція з запуску програми:

1. Відкрийте середовище розробки або текстовий редактор.
2. Створіть новий файл і скопіюйте до нього програмний код.
3. Збережіть файл з розширенням .c (наприклад, vibrogranulator.c).
4. Відкомпілюйте програму за допомогою компілятора.

Наприклад, у командному рядку можна використати команду: `gcc vibrogranulator.c -o vibrogranulator -lm`

Ключ `-lm` додає посилання на математичну бібліотеку.

5. Запустіть програму у терміналі або у вікні середовища розробки:  
`./vibrogranulator`
6. Після завершення роботи програма повідомить про успішне завершення і створить файл results.txt у поточній теці.

Особливості взаємодії з програмою:

Програма не потребує введення даних користувачем під час виконання. Усі необхідні параметри трьох віброгрануляторів вже задані у вигляді масиву структур

усередині коду. Таким чином, користувачеві не потрібно відповідати на жодні запити — взаємодія повністю автоматизована.

Перевірка вхідних даних:

У програмі реалізована одна базова перевірка коректності вхідних параметрів. Зокрема, контролюється значення коефіцієнта  $k$ , який повинен перебувати в межах від 0 до 1. Якщо для будь-якого з пристроїв цей параметр виходить за допустимі межі, програма виводить повідомлення про помилку у консоль (`stderr`) і пропускає розрахунки для цього пристрою. Це запобігає потенційним помилкам у фізичних розрахунках.

Формат вихідного файлу:

Результати розрахунків для кожного з трьох віброгрануляторів записуються у файл `results.txt`. Для кожного пристрою виводиться таблиця зі значеннями часу, швидкості  $v(t)$ , частоти імпульсів  $f(t)$  та розрахованого діаметра краплі  $dk(t)$ .

## Приклад тестування та результати роботи програми

Для перевірки коректності роботи програми було проведено тестування на основі трьох заздалегідь визначених конфігурацій віброгрануляторів. Усі параметри задані безпосередньо в коді програми у вигляді масиву структур. Це дозволяє забезпечити повторюваність результатів та уникнути похибок, пов'язаних із ручним введенням даних.

### Вхідні дані для тестування

У таблиці нижче наведено параметри трьох моделей віброгрануляторів, які використовувалися для тестування:

Варіант	T (с)	$\Delta t$ (с)	$\varepsilon$	$v_0$ (м/с)	F (Гц)	A (Гц)	k	d (мм)
1	600	20	0,6	2,5	1000	250	0,8	0,5
2	600	20	0,6	2,5	2000	300	0,75	1,0
3	600	20	0,6	2,5	500	50	0,85	2,0

### Приклад розрахунку

Розглянемо фрагмент обчислень для першого варіанту при часі  $t = 0$  с:

Швидкість  $v(t)$ :

$$v(0) = v_0 \cdot \left(1 + k \cdot \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)\right) = 2.5 \cdot (1 + 0.8 \cdot \cos(0)) = 2.5 \cdot 1.8 = 4.5 \text{ м/с}$$

Частот  $f(t)$ :

Оскільки  $t = 0 \leq T/4$ , використовується формула:

$$f(0) = F + \left(\frac{4A}{T}\right)t = 1000 + \left(\frac{4 \cdot 250}{600}\right) \cdot 0 = 1000 \text{ Гц}$$

Діаметр краплі  $dk(t)$ :

$$dk(0) = (3 \cdot d^2 \cdot \varepsilon \cdot \frac{v}{f})^{1/3} = (3 \cdot 0.5^2 \cdot 0.6 \cdot \frac{4.5}{1000})^{1/3} \approx 0.2657 \text{ мм}$$

Цей приклад підтверджує правильність математичних розрахунків згідно з фізичною моделлю.

Скріншоти роботи програми:

```
PS C:\Users\lozov\Downloads\Telegram Desktop\programming> cd "c:
\Users\lozov\Downloads\Telegram Desktop\programming\" ; if ($?)
{ gcc -std=c99 main.c -o main } ; if ($?) { .\main }
Обчислення завершено. Результати записано у файл results.txt
```

Рисунок 5 - Консольне повідомлення про завершення обчислень

Результати обчислень для віброгрануляторів:

Варіант 1:  
 $T = 600.0$  с,  $\Delta t = 20.0$  с,  $\varepsilon = 0.6$   
 $v_0 = 2.5$  м/с,  $F = 1000.0$  Гц,  $A = 250.0$  Гц  
 $k = 0.80$ ,  $d = 0.5$  мм

Час (с)	$v(t)$ (м/с)	$f(t)$ (Гц)	$dk(t)$ (мм)
0.0	4.5000	1000.0	0.1265
20.0	4.4563	1033.3	0.1247
40.0	4.3271	1066.7	0.1222
60.0	4.1180	1100.0	0.1190
80.0	3.8383	1133.3	0.1151
100.0	3.5000	1166.7	0.1105
120.0	3.1180	1200.0	0.1054
140.0	2.7091	1233.3	0.0996
160.0	2.2909	1233.3	0.0942
180.0	1.8820	1200.0	0.0890
200.0	1.5000	1166.7	0.0833
220.0	1.1617	1133.3	0.0773
240.0	0.8820	1100.0	0.0712
260.0	0.6729	1066.7	0.0657
280.0	0.5437	1033.3	0.0619
300.0	0.5000	1000.0	0.0608
320.0	0.5437	966.7	0.0633
340.0	0.6729	933.3	0.0687
360.0	0.8820	900.0	0.0761
380.0	1.1617	866.7	0.0845
400.0	1.5000	833.3	0.0932
420.0	1.8820	800.0	0.1019
440.0	2.2909	766.7	0.1104
460.0	2.7091	766.7	0.1167
480.0	3.1180	800.0	0.1206
500.0	3.5000	833.3	0.1236
520.0	3.8383	866.7	0.1258
540.0	4.1180	900.0	0.1272
560.0	4.3271	933.3	0.1278
580.0	4.4563	966.7	0.1275
600.0	4.5000	1000.0	0.1265

Рисунок 6 - Результат обчислень варіанту 1

Варіант 2:  
 $T = 600.0$  с,  $\Delta t = 20.0$  с,  $\epsilon = 0.6$   
 $v_0 = 2.5$  м/с,  $F = 2000.0$  Гц,  $A = 300.0$  Гц  
 $k = 0.75$ ,  $d = 1.0$  мм

Час (с)	$v(t)$ (м/с)	$f(t)$ (Гц)	$dk(t)$ (мм)
0.0	4.3750	2000.0	0.1579
20.0	4.3340	2040.0	0.1564
40.0	4.2129	2080.0	0.1539
60.0	4.0169	2120.0	0.1505
80.0	3.7546	2160.0	0.1463
100.0	3.4375	2200.0	0.1412
120.0	3.0794	2240.0	0.1353
140.0	2.6960	2280.0	0.1286
160.0	2.3040	2280.0	0.1221
180.0	1.9206	2240.0	0.1156
200.0	1.5625	2200.0	0.1085
220.0	1.2454	2160.0	0.1012
240.0	0.9831	2120.0	0.0942
260.0	0.7871	2080.0	0.0880
280.0	0.6660	2040.0	0.0838
300.0	0.6250	2000.0	0.0825
320.0	0.6660	1960.0	0.0849
340.0	0.7871	1920.0	0.0904
360.0	0.9831	1880.0	0.0980
380.0	1.2454	1840.0	0.1068
400.0	1.5625	1800.0	0.1160
420.0	1.9206	1760.0	0.1252
440.0	2.3040	1720.0	0.1341
460.0	2.6960	1720.0	0.1413
480.0	3.0794	1760.0	0.1466
500.0	3.4375	1800.0	0.1509
520.0	3.7546	1840.0	0.1543
540.0	4.0169	1880.0	0.1567
560.0	4.2129	1920.0	0.1581
580.0	4.3340	1960.0	0.1585
600.0	4.3750	2000.0	0.1579

Рисунок 7 - Результат обчислень варіанту 2

Варіант 3:  
 $T = 600.0$  с,  $\Delta t = 20.0$  с,  $\epsilon = 0.6$   
 $v_0 = 2.5$  м/с,  $F = 500.0$  Гц,  $A = 50.0$  Гц  
 $k = 0.85$ ,  $d = 2.0$  мм

Час (с)	$v(t)$ (м/с)	$f(t)$ (Гц)	$dk(t)$ (мм)
0.0	4.6250	500.0	0.4053
20.0	4.5786	506.7	0.4022
40.0	4.4413	513.3	0.3964
60.0	4.2192	520.0	0.3880
80.0	3.9219	526.7	0.3771
100.0	3.5625	533.3	0.3637
120.0	3.1567	540.0	0.3478
140.0	2.7221	546.7	0.3297
160.0	2.2779	546.7	0.3107
180.0	1.8433	540.0	0.2907
200.0	1.4375	533.3	0.2687
220.0	1.0781	526.7	0.2452
240.0	0.7808	520.0	0.2211
260.0	0.5587	513.3	0.1986
280.0	0.4214	506.7	0.1816
300.0	0.3750	500.0	0.1754
320.0	0.4214	493.3	0.1832
340.0	0.5587	486.7	0.2022
360.0	0.7808	480.0	0.2271
380.0	1.0781	473.3	0.2541
400.0	1.4375	466.7	0.2810
420.0	1.8433	460.0	0.3067
440.0	2.2779	453.3	0.3307
460.0	2.7221	453.3	0.3510
480.0	3.1567	460.0	0.3669
500.0	3.5625	466.7	0.3802
520.0	3.9219	473.3	0.3907
540.0	4.2192	480.0	0.3985
560.0	4.4413	486.7	0.4035
580.0	4.5786	493.3	0.4058
600.0	4.6250	500.0	0.4053

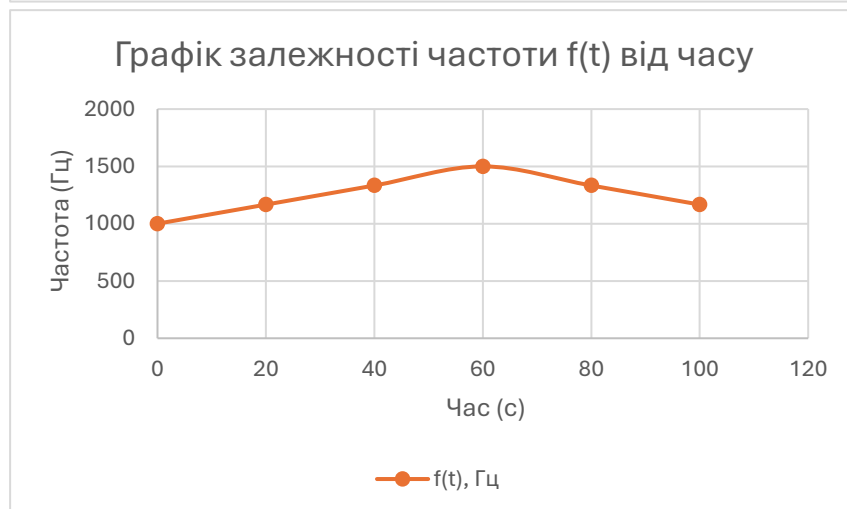
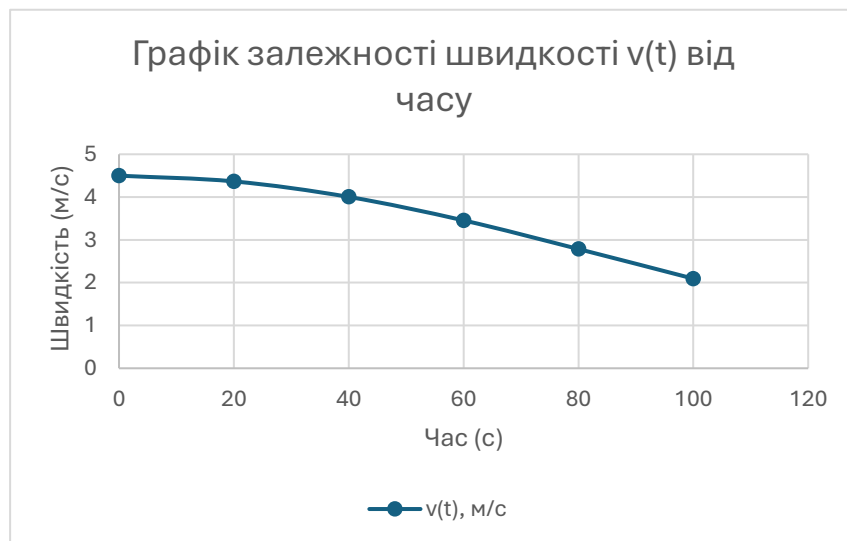
Рисунок 8 - Результат обчислень варіанту 3

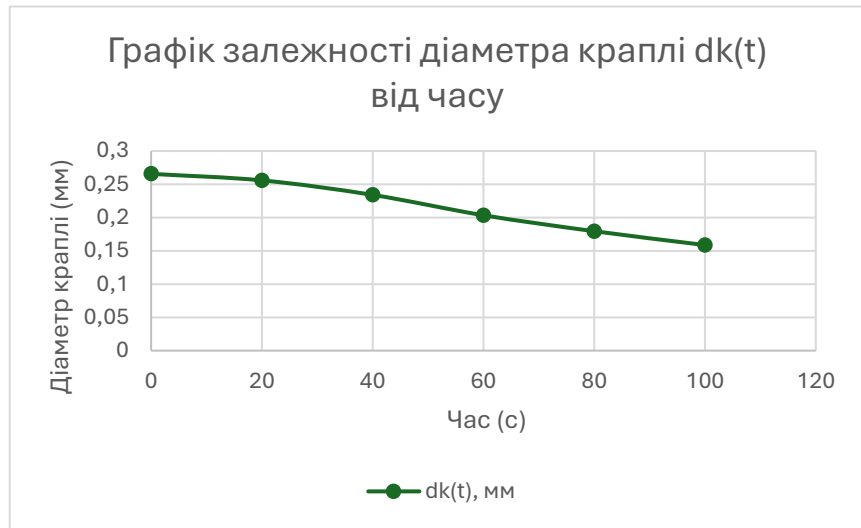
## Графіки

Для візуалізації результатів, отриманих у ході моделювання роботи віброгрануляторів, було побудовано графіки залежностей основних параметрів у часі. Дані для побудови графіків були зчитані з файлу results.txt, сформованого програмою, та імпортовані до Microsoft Excel для подальшої обробки.

Для кожного з трьох віброгрануляторів побудовано такі графіки:

1. Залежність швидкості витікання краплі від часу:  $v(t)$  — це змінна, яка моделює коливання швидкості під впливом гармонічної складової.
2. Залежність частоти імпульсів від часу:  $f(t)$  — це трикутна функція, яка змінюється згідно з фазами зростання і спадання частоти.
3. Залежність діаметра краплі від часу:  $dk(t)$  — результат складної функціональної залежності від  $v(t)$ ,  $f(t)$ ,  $d$  та  $\varepsilon$ , яка описує фізичний процес утворення крапель.





## Висновки

У ході виконання курсової роботи було створено програму моделювання роботи віброгранулятора за допомогою мови програмування C. Основною метою було обчислення змінних параметрів, таких як швидкість витікання рідини, частота імпульсів та діаметр краплі, які змінюються в залежності від часу. Для цього було реалізовано математичну модель процесу з урахуванням фізичних характеристик пристрою.

Програма використовує бібліотеки `<math.h>` для математичних обчислень і `<stdio.h>` для роботи з файлами, зокрема для збереження результатів обчислень у текстовий файл. Дані кожного пристрою зберігаються в структурі, що дозволяє ефективно опрацьовувати набір параметрів. У процесі роботи реалізовано перевірку правильності вхідних даних, наприклад, контроль за допустимим діапазоном значень параметра  $k$ .

Обчислення проводились для трьох різних варіантів віброгрануляторів, що дозволило порівняти їхню поведінку та оцінити вплив зміни параметрів на результати. Результати були збережені у вигляді таблиць, на основі яких у Microsoft Excel було побудовано графіки залежностей швидкості, частоти та діаметра краплі від часу. Побудовані графіки підтверджують коректність реалізованої моделі та демонструють динаміку зміни параметрів у процесі роботи віброгранулятора.

Таким чином, поставлену задачу було реалізовано повністю, обрана модель виявилася ефективною для аналізу роботи пристрою, а створена програма може бути використана як основа для подальших досліджень або вдосконалення конструкції віброгрануляторів.



## Список використаної літератури

1. Шилдт Герберт. С: полное руководство / Герберт Шилдт. – 4-е изд. – Москва : Вильямс, 2017. – 704 с.
2. Шпак З. Я. Програмування мовою С : навчальний посібник / З. Я. Шпак. – Львів : Оріяна-Нова, 2011. – 432 с.
3. Авраменко В. В. Програмування [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://elearning.sumdu.edu.ua/works/6338/nodes/1639922>.
4. 4109 Методичні вказівки до проведення практичних занять і самостійної роботи з дисципліни «Програмування» на тему «Робота з масивами» для студ. спец. «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» / укладачі: В. О. Боровик, Н. В. Тиркусова. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 33 с.
5. 4962 Методичні вказівки для лабораторних робіт і самостійної роботи на тему «Функції і покажчики» з дисципліни «Програмування» для студентів спеціальностей 122 «Комп'ютерні науки» та 125 «Кібербезпека» : у 2 ч. / укладачі: В. В. Авраменко, В. О. Боровик, Н. В. Тиркусова. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – Ч. 1. – 60 с.
6. Ришковець Ю. В. Алгоритмізація та програмування [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Ю. В. Ришковець, В. А. Висоцька. – Львів : Новий Світ-2000, 2018. – Ч. 1. – 337 с. – Режим доступу : [http://lib.sumdu.edu.ua/library/DocDescription?doc\\_id=711104](http://lib.sumdu.edu.ua/library/DocDescription?doc_id=711104).
7. Ришковець Ю. В. Алгоритмізація та програмування [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Ю. В. Ришковець, В. А. Висоцька. – Львів : Новий Світ-2000, 2018. – Ч. 2. – 315 с. – Режим доступу : [http://lib.sumdu.edu.ua/library/DocDescription?doc\\_id=711115](http://lib.sumdu.edu.ua/library/DocDescription?doc_id=711115).
8. Hansen J. A. The Rook's Guide to C++ [Electronic resource] / J. A. Hansen. – 2013. – 160 p. – Access mode : <https://www.goodreads.com/book/show/20667924-the-rook-s-guide-to-c>