

Комп'ютерне моделювання фізичного процесу у різних програмних середовищах

В контексті процесу інтеграції України в єдиний європейський освітній простір є актуальною проблема загальної комп'ютерної підготовки фахівця. Адже однією з передумов входження в Болонський процес є здійснення вищими навчальними закладами медіаосвітньої підготовки викладача, який повинен окрім використання в організації навчального процесу традиційних методів і форм навчання вміти проєктувати освітнє та навчальне середовище з використанням сучасних педагогічних інформаційних комп'ютерних технологій. Це є характерною рисою європейської зони освіти.

Відповідно до Державного галузевого стандарту вищої освіти у нормативній частині Освітньо-професійної програми підготовки бакалавра за спеціальністю «6.010100 Педагогіка і методика середньої освіти. Фізика» [1] передбачено вивчення студентами в рамках навчальної дисципліни „Інформатика” змістового модуля „Моделювання” (на 2-му курсі в 3-му семестрі), який складається з п'яти розділів: моделювання, основні типи моделювання; інформаційне моделювання; комп'ютерний експеримент у фізиці; комп'ютерне математичне моделювання фізичних процесів: чисельний експеримент в задачах механіки, електрики, статистичної фізики; моделі подання знань та пошук розв'язків в системах штучного інтелекту.

При цьому студенти повинні набувати таких вмінь: створювати математичну модель фізичної системи, явища або процесу в фізичній системі; обирати та використовувати готові програмні засоби (математичні пакети програм) для аналітичного, графічного, чисельного розв'язування математичних задач, які є математичними моделями фізичних систем, явищ і процесів у фізичній системі; обирати метод чисельного розв'язування математичних задач, які є математичними моделями досліджуваних процесів і явищ. Але в існуючій освітній практиці випускники, в основному, не володіють необхідними для цього вміннями в повній мірі. Отже, розробка ефективної методики навчання студентів технології комп'ютерного моделювання в наш час є актуальним завданням вищої школи.

Більшість дослідників справедливо вважають, що важливим результатом вивчення курсу інформатики є розширення й поглиблення предметної галузі, що вивчається, за рахунок надання студентам можливості моделювання, імітації досліджуваних процесів і явищ, організації на цій основі дослідницької діяльності майбутніх вчителів, уміння створювати комп'ютерні моделі та проводити експерименти за їх допомогою. Навчання прийомів роботи з ними значна увага приділяється у роботах таких науковців, як В.К. Белошапка, О.І. Бочкін, А.Ф. Верлань, А.В. Водолаженко, А.Б. Горстко, Х. Гулд, Дж. Ендрюс, М.І. Жалдак, Ю.О. Жук, А.С. Лесневський, Р. Мак-Лоун, Т.В. Малкова, О.А. Матюшкіна-Герке, О.П. Михайлов, Ю.К. Набочук, Л.Л. Панченко, С.А. Раков, Ю.С. Рамський, В.Б. Распопов, О.А. Самарський, С.О. Семеріков, І.Л. Семещук, І.О. Теплицький, Я. Тобочник, Г.Ю. Цибко, Т.І. Чепрасова та інших.

Однак автори, як правило, досліджують використання в навчальному процесі вже готових комп'ютерних моделей або обмежуються використанням лише окремих програмних засобів при навчанні комп'ютерного моделювання.

На фізико-математичному факультеті Уманського державного педагогічного університету імені Павла Тичини у варіативну частину навчального плану підготовки бакалавра зі спеціальності «Фізика та основи інформатики» введено курс «Комп'ютерне моделювання» в 7-му та 8-му семестрах навчання. При вивченні цієї дисципліни студенти глибше знайомляться з методом моделювання, ніж це можна зробити на 2-му курсі, оскільки ними вже опановано такі розділи і курси, як «Чисельні методи», «Математична логіка та теорія алгоритмів», «Мови програмування» (розділ «Середовище візуального об'єктно-орієнтованого програмування Delphi») і т. ін. На лабораторних заняттях студенти розв'язують типові задачі комп'ютерного моделювання фізичних явищ та процесів за допомогою різних програмних засобів, що сприяє виробленню тих навичок, які необхідні майбутньому вчителю фізики та інформатики [4].

Розглянемо приклад комп'ютерного моделювання фізичного процесу у різних програмних середовищах [3].

Нехай об'єктом моделювання є процес теплопередачі. Дослідимо його на прикладі охолодження тіла (чашки з кавою), температура якого становить $T_0 = 83^\circ\text{C}$, температура навколишнього середовища $T_s = 22^\circ\text{C}$, початком відліку часу вважатимемо $t_0 = 0$ хв. Процес описується законом теплопровідності Ньютона [2, с. 26-48]:

$$\frac{dT}{dt} = -r(T - T_s) \quad , \quad (1)$$

де T – температура тіла, r – «коефіцієнт охолодження» (для досліджуваного процесу $r = 0,1$ хв⁻¹).

Рівняння (1) – диференціальне рівняння першого порядку. Це і є математична модель процесу, що розглядається.

Використовуючи *систему комп'ютерної математики Maxima*, можна розв'язати диференціальне рівняння (1) і отримати графік процесу охолодження, тобто його комп'ютерну модель. Для цього слід послідовно ввести команди:

```

r:1/10$

Ts:22$

[diff(Temp(t),t)+r*(Temp(t)-Ts)=0];

atvalue('diff(Temp(t),t),t=0,0)$

atvalue(Temp(t),t=0,83)$

desolve(%o3,[Temp(t)]);

```

де $Temp(t)$ – шукана функція;
 $diff(Temp(t),t)$ – перша похідна функції $Temp(t)$ за змінною t ;
 $atvalue('diff(Temp(t),t),t=0,0)$ – задається значення похідної (0) при $t = 0$;
 $atvalue(Temp(t),t=0,83)$ – задається значення функції (83) при $t = 0$;
 $desolve(%o3, [Temp(t)])$ – розв'язується диференціальне рівняння, яке записане у рядку під номером %o3, відносно функції $Temp(t)$.

В результаті обчислень видається розв'язок у вигляді:

$$Temp(t) = 61\% \frac{t}{10} + 22$$

Далі можна побудувати графік даної функції (рис. 1) за допомогою команди:
`wxplot2d([61*%e^(-t/10)+22], [t,0,100], [nticks,100])$`

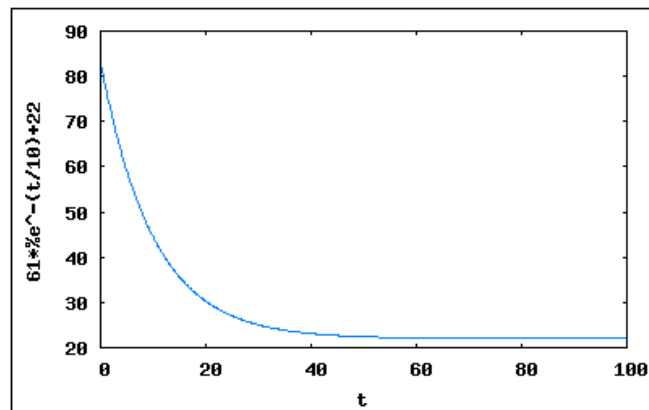


Рис. 1

Таким чином, в середовищі *Maxima*, не вдаючись до написання алгоритму, можна побудувати комп'ютерну модель процесу, заданого диференціальним рівнянням першого порядку, та отримати уявлення про характер його перебігу.

Для даного випадку можна легко знайти аналітичний розв'язок рівняння (1) за методом відокремлення змінних:

$$T = T_s + e^{-r(t-t_0)}(T_0 - T_s) \quad (2)$$

Засобами діяльнісного предметно-орієнтованого середовища *GRANI* побудуємо графік досліджуваного процесу. Для цього запишемо (2) у вигляді:

$$y(x) = p1 + \text{Exp}(-p3*x)*(p2-p1),$$

де виконуються такі заміни:

$x(t) \Rightarrow y(x)$;

$T_s \Rightarrow p1 = 22$ (розглянемо розв'язок задачі при зміні T_s в межах від 10°C до 40°C з кроком 1°C);

$T_0 \Rightarrow p2 = 83$ (розглянемо розв'язок задачі при зміні T_0 в межах від 22°C до 100°C з кроком 1°C);

$r \Rightarrow p3 = 0,1$ (розглянемо розв'язок задачі при зміні r в межах від 0 хв^{-1} до 2 хв^{-1} з кроком $0,01 \text{ хв}^{-1}$).

В результаті одержуємо графік функції $T(t)$, зображений на рис. 2.

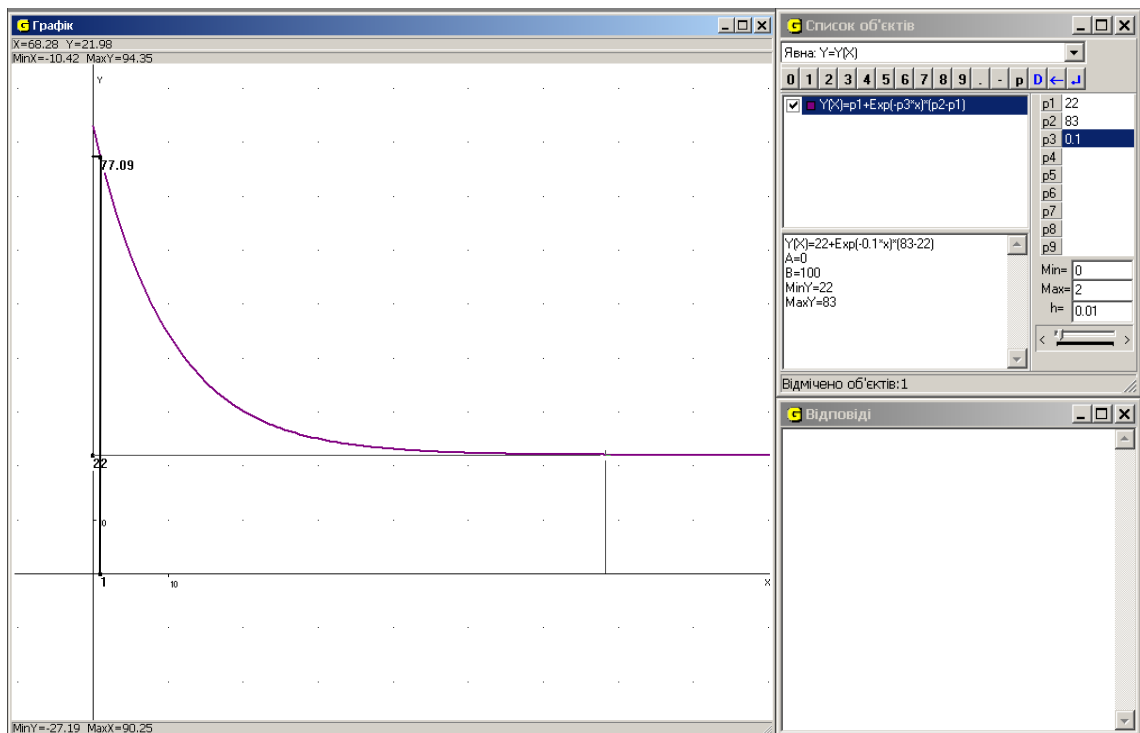


Рис. 2

В середовищі GRAN1 зручно досліджувати за допомогою повзунця плавної зміни параметрів функції, як залежить графік процесу від значень вхідних параметрів (T_s, T_0, r). Рухаючи вказівник мишки вздовж графіка, легко встановити значення температури в певний момент часу.

Отже, використання програм Maxima та GRAN1 значно спрощує процес розв'язування задачі та дає змогу обійти труднощі, пов'язані з програмуванням математичних алгоритмів і, частково, представленням результатів моделювання.

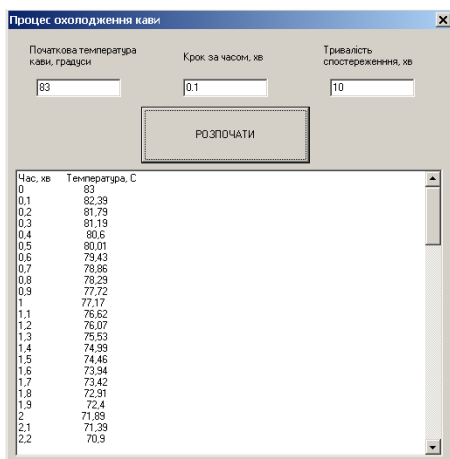


Рис. 3

Але для багатьох диференціальних рівнянь розв'язку в аналітичному поданні не існує. З іншого боку, у випадку існування аналітичного розв'язку за його виглядом не завжди можна зрозуміти характер та особливості процесу, який він описує. Тоді доцільніше розв'язувати відповідне диференціальне рівняння чисельно. Розв'язком в цьому випадку буде таблиця наближених значень функції, що описує даний процес.

Для чисельного розв'язування рівняння (1) використаємо метод Ейлера:

$$T_n = T_{n-1} + g(t_{n-1})\Delta t, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

$$\text{де } g(t_{n-1}) = -r(T_{n-1} - T_s)$$

Розробимо засобами середовища об'єктно-орієнтованого програмування Delphi комп'ютерну програму для чисельного розв'язування рівняння теплопровідності Ньютона (1). На рисунку 3 зображено можливий варіант оформлення інтерфейсу, а нижче подано фрагмент коду програми. Програмно можна передбачити побудову графіка функції за розрахованими програмно таблицями значеннями.

```

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
  var t, tmax, temperature, room_temp, r, dt, change: real;
  i, ncalc, code : integer;
begin
  Val(Edit2.text, dt, code);           { крок за часом (хв) }
  Val(Edit1.text, temperature, code); { початкова температура кави (°C) }
  Val(Edit3.text, tmax, code);        { тривалість спостереження (хв) }
  room_temp := 22;                    { кімнатна температура (°C) }
  t := 0.0;                            { початковий момент часу }
  r := 0.1;                            { коефіцієнт охолодження (1/хв) }
  ncalc := trunc(tmax/dt);             { загальна кількість кроків }
  mem01.Lines.Clear;
  mem01.Lines.Add('Час, хв           Температура, C');
  mem01.Lines.Add(format('%-5.4g      %5.4g', [t, temperature]));
  for i:= 1 to ncalc+1 do
  begin
    change := -r * (temperature - room_temp); { похідна g(t) }
    temperature := temperature + change * dt;
  
```

```

t := t + dt; { час }
memol.Lines.Add(format('%-5.4g      %5.4g', [t, temperature]));
end;
end;

```

Створюючи комп'ютерну модель засобами Delphi, студент може самостійно розробити інтерфейс програми, встановити, які саме параметри моделі будуть вводиться та змінюватись користувачем, як і в якій формі (в табличній, графічній) результат буде виведено на екран, а також супроводити програму імітаційним зображенням досліджуваного процесу (що неможливо зробити засобами Maxima, GRAN1 та Microsoft Excel).

Завдання розробки комп'ютерної моделі фізичного процесу засобами середовища Delphi орієнтовані на студентів, які вміють програмувати. Це дозволяє поряд з виробленням навичок моделювання поглибити знання з програмування. Крім того, створювана комп'ютерна модель є програмним засобом, який можна буде використовувати під час занять в школі або університеті, тому при оформленні інтерфейсу студентам пропонується враховувати психолого-педагогічні вимоги до комп'ютерних програм навчального призначення.

Для чисельного розв'язування рівняння теплопровідності Ньютона (1) за методом Ейлера, можна також використати *середовище Microsoft Excel* (рис. 4).

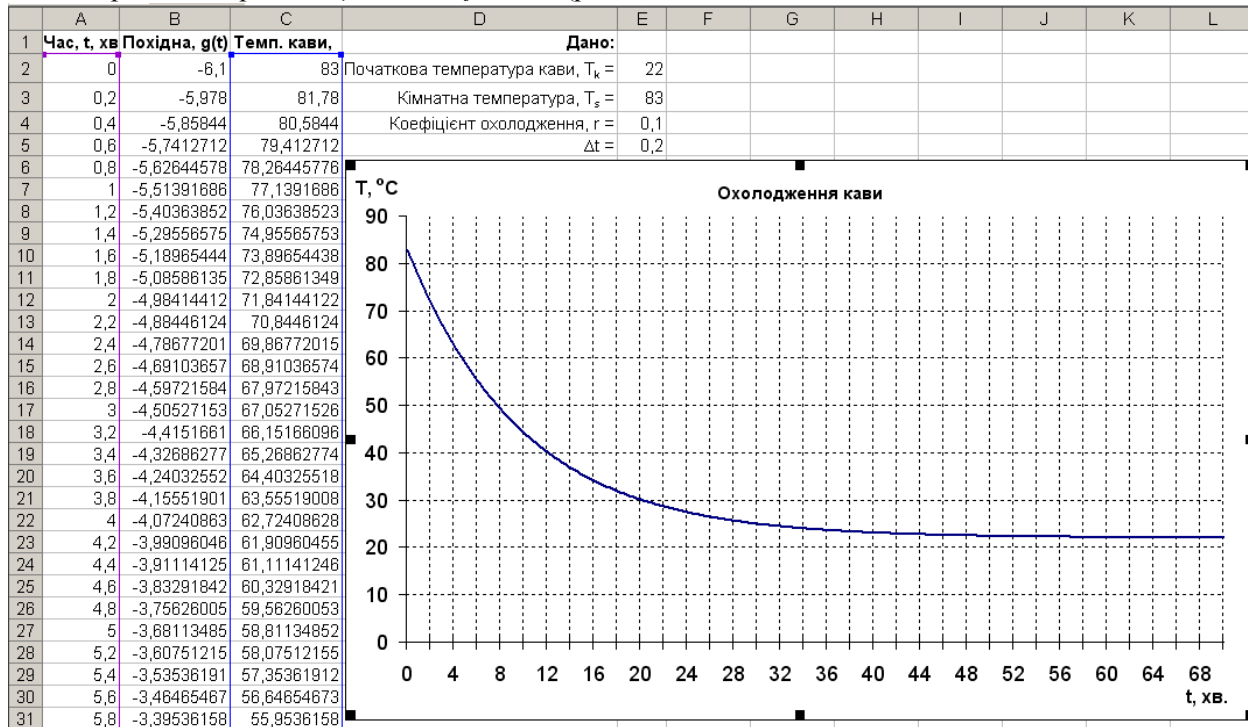


Рис. 4

Для цього слід заповнити комірки першого рядка так, як це показано на рисунку 4. Далі потрібно ввести вхідні дані, тобто заповнити стовпці D та E (див. рис. 4). Рядки 2 та 3 заповнити значеннями та формулами відповідно до Табл.1.

Табл.1.

Адреса комірки	Формула або значення комірки
<i>Другий рядок</i>	
A2	0
B2	=-E\$4*(C2-E\$2)
C2	=E3
<i>Третій рядок</i>	
A3	=A2+E\$5
B3	=-E\$4*(C3-E\$2)
C3	=C2+B2*E\$5

Комірки третього рядка слід копіювати у наступні 100 рядків за допомогою автозаповнення комірок або копіювання формул. Використовуючи майстер побудови діаграм, одержимо графік процесу охолодження кави (рис. 4).

Використовуючи MS Excel, зручно відображати результати моделювання у табличному та графічному вигляді. Можна легко встановити, як і засобами GRAN1, значення температури в деякий момент часу, пересуваючи вказівник мишки вздовж графіка.

Порівнюючи результати, одержані в середовищі Delphi та MS Excel (рис. 3 та 4), із графічним поданням аналітичного розв'язку засобами Maxima та GRAN1 (мал. 1 та 2), можна зробити висновок, що всі використані програми точно або із певним наближенням відображають комп'ютерні моделі досліджуваного фізичного процесу.

Висновки. Вибір середовища моделювання обумовлюється типом задачі, що розв'язується, та етапом моделювання, на якому створюється комп'ютерна модель. Так, якщо досліджуваний процес описується диференціальним рівнянням, то його легко моделювати засобами Maxima, якщо він

задається функціональною залежністю, то – GRAN1 або MS Excel. Середовище Delphi може використовуватись для розв'язування практично всіх типів задач та супроводу візуальним відтворенням досліджуваного об'єкту, процесу або явища. Хоча слід зазначити, що програмування потребує значних затрат часу на складання алгоритму та розробку інтерфейсу користувача.

Основним завданням курсу «Комп'ютерне моделювання» є навчити студентів створювати комп'ютерні моделі, вибираючи програмний засіб адекватно досліджуваній задачі та обгрунтовуючи свій вибір.

ЛІТЕРАТУРА

1. Галузеві стандарти вищої освіти. Педагогічна освіта. Педагогіка і методика середньої освіти. Фізика. – Частина II. Освітньо-професійна програма підготовки бакалавра. – К.: Видавництво НПУ ім. М.П. Драгоманова. – 2003. – 74 с.
2. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. в 2-х частях. Часть 1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
3. Дудик М.В., Хазіна С.А. Моделювання фізичних явищ у комп'ютерних навчальних програмах: Навчальний посібник. – Умань, 2007. – 72 с.
4. Дудик М.В., Хазіна С.А. Навчання майбутніх вчителів фізики технології комп'ютерного моделювання // Інформатика та інформаційні технології в навчальних закладах. – 2006. – № 6. – С. 14-19.