

УДК 378.147

Колесников С.О.

¹ кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін, ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

e-mail: kolesnsa@gmail.com,

ORCID 0000-0002-9538-8858

ФОРМУВАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ПІД ЧАС ВИКЛАДАННЯ ФІЗИКИ

У статті розглянуто сучасні методи аналізу рішень диференціальних рівнянь для студентів у вищих навчальних закладах. Розглянуто та описано застосування табличного процесору MS Excel у навчанні студентів щодо поглибленого аналізу рішень стандартної фізичної моделі коливальних.

Ключові слова: *ІКТ, диференціальне рівняння, згасаючі коливання, якісний аналіз рішення від параметрів.*

Вступ

Постановка проблеми. Удосконалення змісту та освітніх технологій в процесі навчання фізико-математичних дисциплін є нагальною навчально-методичною задачею [1,2]. А з огляду на потреби формування дослідницької компетентності та здобуття здобувачами певного науково-дослідницького досвіду вже під час опанування освітніх компонент першого курсу потреба удосконалення навчально-методичного забезпечення стає першорядною задачею [2,3,5]. Відзначимо, що методичні розробки кейсів прикладних задач звичайних диференціальних рівнянь, як засобу моделювання процесів та явищ навколишнього світу представлені досить широко. А ті, з них, що використовують засоби інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) заслуговують особливої уваги для наслідування та більш широкого впровадження в навчальний процес [1,2].

В рамках викладання дисциплін першого та другого року навчання «Фізика», «Теоретична та прикладна механіка», «Прикладна фізика та інженерна механіка», в ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» розроблені кейси прикладних задач, під час розв'язання яких бажаним є використання табличного процесору MS Excel та системи комп'ютерної математики (СКМ) Maple. Зазначимо, що під час розв'язання прикладних задач студенти навчаються формалізувати задачу, обирати метод її розв'язання та проводити аналіз рішень, що дозволить їм надалі застосувати отримані навички і під час вирішення спеціальних професійно спрямованих завдань.

У цій роботі ми описуємо застосування табличного процесору MS Excel у навчанні студентів ТОВ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» на прикладі фізико-математичній моделі коливань пружного маятника. Зокрема, пропонуються інструменти ІКТ для перевірки розрахунків та поглибленого аналізу рішень стандартної фізичної моделі коливань. Це розробка ідеї, викладеної в [2], де були розглянуті сучасні методи аналізу рішень диференціальних рівнянь у вищій освіті. Ми демонструємо, як студенти можуть використовувати ІКТ для розрахунків вихідних параметрів, побудови графіків та розуміння у вирішенні проблем коливань.

Робота орієнтована на практичне застосування ІКТ, що дозволяє студентам не лише отримати правильну чисельну відповідь, але й якісно проаналізувати отримане рішення, зрозуміти його фізичне значення та взаємозв'язок між параметрами моделі.

Метою статті є демонстрація можливостей ефективного використання ІКТ для формування дослідницької компетентності майбутнього фахівця.

Основна частина

Найважливішими з поміж коливних рухів є гармонійні коливання. Гармонійними називаються коливання, у процесі яких зміщення X змінюється за законом синуса (або косинуса) [6]:

$$X(t) = A \sin(\omega t + \phi_0),$$

де A – амплітуда, що дорівнює абсолютному значенню найбільшого зміщення; ω – циклічна частота коливань; $\omega t + \phi_0$ – фаза коливань, що однозначно визначає значення коливальної величини у момент часу t ; ϕ_0 – початкова фаза.

У реальних фізичних системах, що здійснюють коливальний рух, завжди діють сили внутрішнього та зовнішнього тертя і опору довкілля. Через це реальні коливальні рухи відбуваються з поступовими втратами енергії коливань на роботу проти сил опору і створення коливань у навколишньому середовищі. Більшість механічних коливань відбуваються за невеликої швидкості коливального руху. В цьому разі сила опору $F_{оп}$ пропорційна швидкості:

$$F_{оп} = -rv = -v \frac{dX}{dt},$$

де r – коефіцієнт опору; знак «мінус» вказує на те, що вектори $\vec{F}_{оп}$ і $\vec{v}$ мають протилежні напрями.

Якщо на коливальну систему впливають пружна (або квазіпружна) відновлювальна сила, пропорційна зміщенню, і сила опору, то дістанемо диференціальне рівняння згасаючих коливань:

$$\frac{d^2 X}{dt^2} + 2\beta \frac{dX}{dt} + \omega_0^2 X = 0,$$

де $\beta = r/(2m)$ – коефіцієнт згасання коливань.

Остаточно, розв'язання останнього рівняння має вигляд:

$$X = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \phi_0),$$

де $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ частота згасаючих коливань (ω_0 – частота вільних коливань). Сам собою математичний аналіз цієї функції є досить складне для студента першого курсу завдання. Як правило, ця тема відправляється викладачем на самостійне вивчення. Ми поставили завдання, як можна підготувати студента до проведення цього аналізу, змінюючи вхідні параметри системи та отримав вихідні дані за допомогою організації обчислень в MS Excel.

Амплітуда згасаючих коливань

Рух маятника можна розглядати, як коливання з частотою ω і амплітудою, що змінюється згідно із законом

$$A(t) = A_0 e^{-\beta t}$$

Енергія згасаючих коливань

Оскільки енергія вільних коливань пропорційна квадрату амплітуди то то закон зміни енергії при згасаючих коливаннях має вигляд:

$$W(t) = W_0 e^{-2\beta t},$$

$$\text{де } W_0 = \frac{k \cdot A_0^2}{2}.$$

Час релаксації (τ)

Час релаксації (τ) – час, протягом якого амплітуда коливань зменшується $e=2,71828...$ раз (e – основа натуральних логарифмів).

$$\tau = 1/\beta$$

Коливання пружинного маятника

Пружинний маятник – це кулька масою m , яка прикріплена до пружини жорсткістю k . Якщо змістимо кульку від положення рівноваги на відстань $A = x_0$, після чого надамо систему самій собі. Вільні коливання цього маятника відбуваються з частотою ω_0 , де власна частота $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ вхідний фізичний параметр, що характеризує коливальні властивості системи. Методика дослідження цих коливань та побудови графіків за допомогою MS Excel було розглянуто в роботі [4].

Розглянемо реалізацію дослідження згасаючих коливань за допомогою MS Excel, яка впроваджена в навчальний процес при викладанні фізики в університеті. Вхідні значення основних параметрів механічних коливань: амплітуда A_0 , жорсткість k , маса m та коефіцієнт опору r . Покажемо фрагменти результатів дослідження механічних коливань.

Спочатку студенту потрібно знайти власну частоту $\omega_0 = 2$. Потім він отримує наступне завдання визначити:

- 1) час досягнення половини значення амплітуди;
- 2) період коливань
- 3) частоту згасаючих коливань;
- 4) проаналізувати аналітично та графічно залежність амплітуди від часу, та при збільшенні у два рази значення b – коефіцієнт опору характер
- 5) проаналізувати аналітично та графічно залежність енергії від часу;
- 6) знайти час релаксації.

Задачу можна вирішити безпосередньо, але за допомогою MS Excel це дає можливість провести швидко та наглядно додаткові дослідження, наприклад як впливають на коливання параметри k , m та β .

Покажемо перший фрагмент результатів дослідження коливань, якщо параметри набувають значення $A_0 = 0,05$ м, $k = 5$ Н/м, $m = 1$ та $r = 1,5$. Зеленого кольору вхідні дані, жовтого кольору результати числових обчислень – дивись рисунок 1.

	А	В	С
1	Вхідні дані		
2			
3	Параметр	Значення	Розмірність
4	k	5,000	Н/м
5	m	1,000	кг
6	r-коефіцієнт опору	1,500	
7	A_0 (амплітуда)	0,050	м
8			
9	Вихідні дані		
10	Параметр	Значення	Розмірність
11	ω_0 (частота вільних коливань)	2,236	рад/с
12	T (Період згасаючих коливань)	2,810	с
13	β (коефіцієнт згасання)	0,750	1/с
14	$\beta_H = 2\beta$ (коефіцієнт згасання)	1,500	1/с
15	ω (частота згасаючих коливань)	2,107	рад/с
16	τ (час релаксації)	1,333	с
17	λ (логарифмічний декремент)	2,107	
18	Q (добротність)	1,491	
19	W_0 (початкова енергія)	0,008	Дж

Рис. 1. Фрагмент результатів дослідження механічних коливань (числові значення).



Рис. 2. Фрагмент результатів дослідження амплітуди та енергії згасаючих механічних коливань.

Дослідницька складова 1: перше завдання – студенту пропонується проаналізувати змінення всіх вихідних параметрів при збільшенні жорсткості пружини в 25 разів, та зробити висновки. Результати представлені на рисунку 3

	A	B	C
1	Вхідні дані		
2			
3	Параметр	Значення	Розмірність
4	k	125,000	Н/м
5	m	1,000	кг
6	r -коефіцієнт опору	1,500	
7	A_0 (амплітуда)	0,050	м
8			
9	Вихідні дані		
10	Параметр	Значення	Розмірність
11	ω_0 (частота вільних коливань)	11,180	рад/с
12	T (Період згасаючих коливань)	0,562	с
13	β (коефіцієнт згасання)	0,750	1/с
14	$\beta_n = 2\beta$ (коефіцієнт згасання)	1,500	1/с
15	ω (частота згасаючих коливань)	11,155	рад/с
16	τ (час релаксації)	1,333	с
17	λ (логарифмічний декремент)	0,421	
18	Q (добротність)	7,454	
19	W_0 (початкова енергія)	0,208	Дж

Рис. 3. Фрагмент результатів дослідження механічних коливань при збільшенні жорсткості (числові значення).

Звертаємо увагу студентів, що наприклад збільшення жорсткості в рази призводить до збільшення частоти вільних коливань, але мало впливає на частоту згасаючих коливань. Порівняльний аналіз інших параметрів пропонується зробити самостійно.

Дослідницька складова 2: друге завдання – студенту пропонується проаналізувати змінення амплітуди та енергії при збільшенні жорсткості пружини в 25 разів, та зробити висновки. Результати представлені на рисунку 4

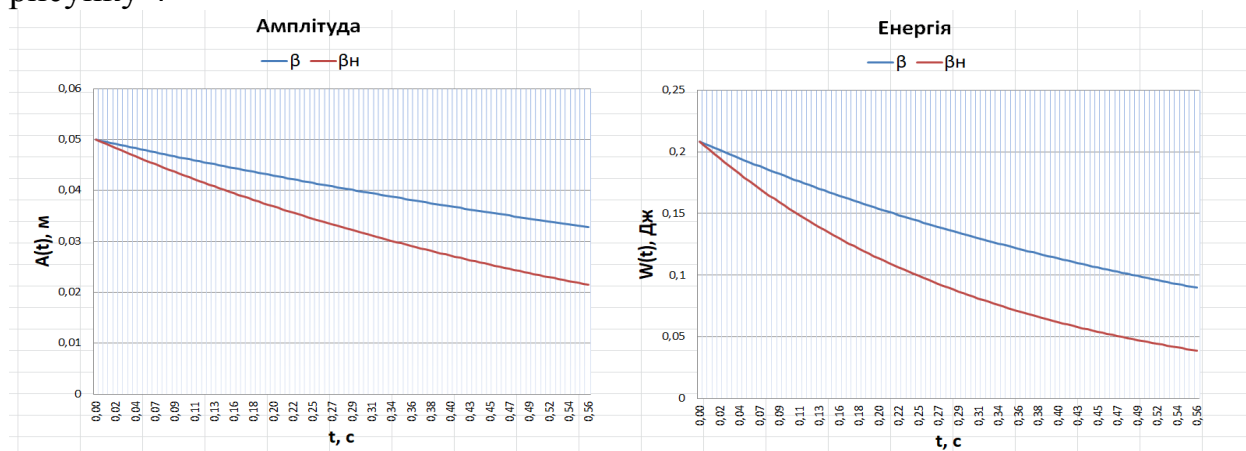


Рис. 4. Фрагмент результатів дослідження амплітуди та енергії згасаючих механічних коливань при збільшенні жорсткості.

Звертаємо увагу студентів, що наприклад збільшення жорсткості в рази призводить до збільшення початкової енергії коливань, але мало впливає на частоту згасаючих коливань. Але наприкінці першого періоду енергія системи зменшилась приблизно в два рази. На рисунку 2 бачимо, що при невеликих значеннях жорсткості енергія наприкінці першого періоду практично дорівнює нулю. Порівняльний аналіз інших параметрів пропонується студентам зробити самостійно.

Висновки

Робимо загальні висновки. Застосування в навчальному процесі аналогічних розробок з використанням різноманітних засобів ІКТ: наприклад MS Excel [2,4], або СКМ Maple [2,5] впливає позитивно на якість навчання, а також допомагає формуванню дослідницької компетентності студентів. Застосування ІКТ також дає поштовх до здобуття певного науково-дослідницького досвіду.

Література

1. Engelbrecht J., Borba M. C. Recent developments in using digital technology in mathematics education. ZDM Mathematics Education 56, 281–292 (2024). doi:10.1007/s11858-023-01530-2.
2. Михалевич В.М. Використання систем комп'ютерної математики у процесі навчання студентів ВНЗ : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2016. 279 с.
3. Здійснення якісного аналізу однієї прикладної математичної моделі під час вивчення диференціальних рівнянь першого порядку / С.О. Колесников, І.В. Левандовська // Вісник Вінницького політехнічного інституту– 2013. – №3. – С.131-135.

4. Kolesnykov S.O. Organization of the study of differential equations in distance education. International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education” : conference proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2023. Vol. 1. 272 pages. P. 144-146. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-46>
5. Грудкіна Н. С., Кайдан Н. В., Колесников С. О., Дмитришин І. С. Використання СКМ Maple при розв’язанні задач з обчислення геометричної ймовірності. Педагогічна Академія: наукові записки, 2024, (9). doi:10.5281/zenodo.13326522
6. Фелінський Г. С. Загальна фізика. Підручник. Реком. ВР КНУ ім. Т.Шевченка. Фелінський Г. С. Каравела, 2020.

Sergiy O. Kolesnykov

«Technical University «METINVEST POLYTECHNIC», METINVEST HOLDING LLC, Zaporizhzhia, Ukraine

Formation of students' research competence during teaching physics

The article considers modern methods of analyzing solutions of differential equations for students in higher educational institutions. The application of the MS Excel spreadsheet in teaching students in-depth analysis of solutions of a standard physical model of oscillations is considered and described.

Keywords: *ICT, differential equation, damped oscillations, qualitative analysis of the solution from the parameters.*
