



ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ:
НАУКОВІ ЗАПИСКИ

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ

УДК 378.147:531

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.14518024>

До питання використання програмних засобів для визначення кінематичних характеристик механічних систем

Кайдаш Михайло Дмитрович

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 80, Південне шосе, м.Запоріжжя, 69008, Україна, <https://orcid.org/0000-0001-9378-4251>

Кайдан Вадим Петрович

старший викладач кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 80, Південне шосе, м. Запоріжжя, 69008, Україна; старший викладач циклової комісії з інженерії програмного забезпечення Хмельницький фаховий економіко-технологічний коледж Університету економіки і підприємництва, 13, вулиця Героїв Майдану, м. Хмельницький, 29000, Україна, <https://orcid.org/0000-0003-2008-3539>

Кайдан Наталія Володимирівна

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 80, Південне шосе, м. Запоріжжя, 69008, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-4184-8230>



Колесников Сергій Олексійович

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри природничо-наукових та загальноінженерних дисциплін ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 80, Південне шосе, м.Запоріжжя, 69008, Україна, <https://orcid.org/0000-0002-9538-8858>

Прийнято 02.12.2024: | Опубліковано: 18.12.2024

Анотація. Сучасні вимоги до форм та технологій навчання дисциплінам природничо-наукового циклу в технічних університетах вимагають впровадження в навчальний процес сучасних програмних засобів. Саме така перебудова підходів до методики викладання фізики, теоретичної та прикладної механіки, теорії механізмів та машин, опору матеріалів та споріднених до них дозволяє значно спростити обчислення громіздких виразів, розв'язання диференціальних рівнянь або їх систем і в більшій мірі зосередитись на аналізі отриманих результатів. Широке застосування в процесі навчання у вищій школі отримали табличний процесор MS Excel та універсальні математичні системи Mathcad, Maple та Matlab. Однак реалізація повноцінного моделювання та аналізу механічних систем та процесів вимагає подекуди закупівлі ліцензійного продукту (частина наведених математичних систем не є безкоштовною), або має обмежені можливості в вирішенні окреслених задач. Тому актуальною залишається розробка власних програмних модулів автоматизованого розрахунку, що може застосовуватися під час розв'язання здобувачами технічних спеціальностей прикладних задач відповідної направленості та складності, в тому числі при виконанні курсових робіт та проєктів. Метою роботи є удосконалення методики навчання дисциплінам природничо-наукового циклу з



модельовання механічних систем. У роботі запропоновано розв'язання задачі з визначення кінематичних параметрів механізму за допомогою комп'ютерної програми KINEMA. Використання подібних програмних засобів дозволяє значно зменшити трудомісткість обчислень під час виконання розрахунків та приділити більше уваги аналізу отриманих результатів. Використання програми KINEMA також може стати в нагоді під час розв'язання конкретних інженерних задач на виробництві.

***Ключові слова:** модельовання механічних систем, автоматизований розрахунок, структурний аналіз механізму, кінематичні параметри механізму.*

On the Issue of the Use of Software Tools for Determining the Kinematic Characteristics of Mechanical Systems

Kaidash Mychailo

Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and General Engineering Disciplines «Technical University «METINVEST POLYTECHNIC», METINVESTHOLDING LLC, 80, Pivdenne Hwy, Zaporizhzhia, 69008, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0001-9378-4251>

Kaidan Vadym

Senior Lecturer of the Department of Natural Sciences and General Engineering Disciplines «Technical University «METINVEST POLYTECHNIC», METINVEST HOLDING LLC, 80, Pivdenne Hwy, Zaporizhzhia, 69008, Ukraine; Senior Lecturer of the Cycle Commission on Software Engineering



Khmelnysky Professional College of Economics and Technology of the University of Economics and Entrepreneurship, 13, Heroiv Maidanu Street, Khmelnytskyi, 29000, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-2008-3539>

Kaidan Nataliia

Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and General Engineering Disciplines «Technical University «METINVEST POLYTECHNIC», METINVEST HOLDING LLC, 80, Pivdenne Hwy, Zaporizhzhia, 69008, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-4184-8230>

Kolesnykov Sergiy

Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and General Engineering Disciplines «Technical University «METINVEST POLYTECHNIC», METINVESTHOLDING LLC, 80, Pivdenne Hwy, Zaporizhzhia, 69008, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-9538-8858>

***Abstract.** Modern requirements for the forms and technologies of teaching disciplines of the natural science cycle in technical universities require the introduction of modern software tools into the educational process. It is this restructuring of approaches to the methodology of teaching physics, theoretical and applied mechanics, the theory of mechanisms and machines, the resistance of materials and related ones that allows us to significantly simplify the calculation of cumbersome expressions, the solution of differential equations or their systems, and to focus on the analysis of the results obtained. The MS Excel spreadsheet and the universal mathematical systems Mathcad, Maple and Matlab have been widely used*



in the process of teaching in higher education. However, the implementation of full-fledged modeling and analysis of mechanical systems and processes sometimes requires the purchase of a licensed product (some of the above mathematical systems are not free), or has limited capabilities in solving the outlined tasks. Therefore, the development of our own software modules for automated calculation remains relevant, which can be used when solving applied problems of the appropriate focus and complexity by applicants for technical specialties, including when performing coursework and projects. The purpose of the work is to improve the teaching methodology for the disciplines of the natural science cycle on modeling mechanical systems. The work proposes solving the problem of determining the kinematic parameters of the mechanism using the KINEMA computer program. The use of such software allows you to significantly reduce the complexity of calculations when performing calculations and pay more attention to the analysis of the results obtained. The use of the KINEMA program can also be useful when solving specific engineering problems in production.

Keywords: *modeling of mechanical systems, structural analysis of the mechanism, automated calculation, kinematic parameters of the mechanism.*

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями (Вступ).

Сучасний фахівець електромашинобудівельної та металургійної галузей повинен володіти новими методами розрахунку та конструювання відповідного технологічного обладнання. Виконання цих задач повинно забезпечуватися під час викладання дисциплін природничо-наукового циклу, в тому числі фізики, теоретичної та прикладної механіки, опору матеріалів, теорії механізмів та машин, опору матеріалів та споріднених. Успішне опанування ними дають можливість вирішувати комплексні інженерні задачі,



в тому числі з оптимального вибору при проектуванні кінематичних схем машин різних типів [1-4]. Забезпечення виконання цієї задачі повинно ґрунтуватися на глибокій теоретичній підготовці здобувачів та навичках використання сучасних програмних засобів, що використовуються в навчальному процесі і дозволять в майбутньому успішно вирішувати спеціалізовані професійно-орієнтовані задачі [5-7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час переформатування методики навчання дисциплінам природничо-наукового циклу відображається перш за все в активному використанні інформаційно-комунікаційних технологій та сучасних програмних засобів розв'язання складних технічних задач зі збільшенням фокусу на аналізі отриманих результатів [7-10]. Така перебудова підходів до методики викладання фізики, теоретичної та прикладної механіки, теорії механізмів та машин, опору матеріалів та споріднених до них інших навчальних дисциплін дозволяє значно зменшити часові витрати на обчислення громіздких математичних виразів, розв'язання диференціальних рівнянь або їх систем. На даний час у вищій школі широкого застосування набули табличний процесор MS Excel та універсальні математичні системи Mathcad (MathSoft Ins., USA), Maple (Corp. MapleSoft, Canada) та Matlab (Mathworks Ins., USA) [10-13]. Приклади використання MS Excel поширені у курсі фізики [10], однак є досить обмеженими в рамках комплексного застосування під час розв'язання більш складних задач з моделювання механічних систем та застосовуються у вигляді певних етапів обчислення або апроксимації отриманих даних. Моделювання фізичних систем та аналіз нелінійних та хвильових систем реалізовані у середовищі у середовищі Matlab Simulink [12, 13]. Широкі можливості демонструє також система комп'ютерної математики Maple [14], однак такі



системи вимагають закупівлі ліцензійного продукту, що є обмежувальним фактором.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Зменшення кількості годин на вивчення базових технічних дисциплін, як фізика, теоретична та прикладна механіка, теорія механізмів і машин, вимагає впровадження нових рішень до методики навчання з фокусом на заміну «ручного обчислення» на машинне. Такий підхід не обмежує можливості засвоєння студентами теоретичного матеріалу і дозволяє присвятити більше часу для аналізу отриманих рішень. Незважаючи на широкі можливості MS Excel та універсальних математичних систем, їх використання при моделювання механічних систем (механізмів) є досить обмеженим, як наявними прикладами реалізації, так і не завжди їх безкоштовністю [15]. Тому актуальною залишається розробка власних програмних модулів автоматизованого розрахунку, що може застосовуватися під час розв'язання здобувачами технічних спеціальностей прикладних задач відповідної направленості та складності, в тому числі при виконанні курсових робіт та проєктів.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є вдосконалення методики навчання дисциплінам природничо-наукового циклу стосовно моделювання механічних систем. Відповідно до мети перед нами були поставлені та вирішені наступні завдання із розв'язання задачі з визначення кінематичних параметрів плоского важільного механізму за допомогою комп'ютерної програми *KINEMA*.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням здобутих наукових результатів (Результати дослідження). Під час вивчення дисциплін природничо-наукового циклу, зокрема при виконанні розділу курсової роботи з «Теорії механізмів і машин» розглядається задача з

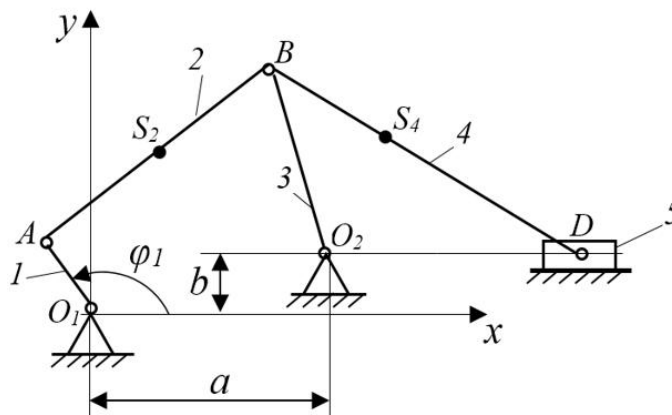


визначення кінематичних характеристик плоского важільного механізму. До кінематичних характеристик належать лінійні і кутові переміщення, швидкості та прискорення окремих ланок і характерних точок механізму. Зазвичай, в класичному варіанті, кінематичні характеристики визначаються шляхом побудови у вибраних масштабах планів механізмів, планів швидкостей та планів прискорень. Такий підхід є наочним, але викликає у студента певні труднощі, потребує значних витрат часу і не завжди забезпечує необхідну точність розрахунків.

На заміну класичному підходу було розроблено комп'ютерну програму *KINEMA*. В основу програми покладено метод замкнених векторних контурів, що реалізується для найбільш поширених типів плоских важільних механізмів із однією або двома структурними групами.

Порядок користування програмою *KINEMA* розглянемо на прикладі плоского важільного механізму із двома структурними групами (рис.1).

Введення вихідних даних передбачає попереднього виконання структурного аналізу механізму та визначення його основних геометричних розмірів:



$$l_1 = l_{O_1A} = 0,09 \text{ м}, \quad l_2 = l_{AB} = 0,38 \text{ м}, \quad l_3 = l_{BO_2} = 0,30 \text{ м}, \quad l_4 = l_{BD} = 0,48 \text{ м}, \\ a = 0,3 \text{ м}; \quad b = 0,06 \text{ м}.$$

Рис.1. Кінематична схема важільного механізму із двома структурними групами



ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ: НАУКОВІ ЗАПИСКИ

Вихідні дані вводяться з урахуванням виду структурних груп, характеру їх з'єднання (складання) між собою та із стояком. При введенні вихідних даних студент зазначає також своє прізвище та шифр академічної групи.

Результати розрахунку виводяться для дискретних значень аргумента φ_1 – кута повороту вхідної ланки O_1A ($\varphi_1 = 0, \pi/6, \pi/3, \dots, 2\pi$) у вигляді:

KINEMA #####КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ#####

Студент академічної групи Прізвище.....

Вихідні дані:

Структурна група номер 1; тип групи =1; спосіб складання =-1; ланка приєднання =2
Структурна група номер 2; тип групи =2; спосіб складання = 1; ланка приєднання =0
група номер 1; X= .3000; Y= .0000; XF= .3000; YF= .0600
група номер 2; X= .0000; Y= .0000; XF= .0000; YF= .0000
L1= .3800; TETA1= .0000; L2= .3000; TETA2= .0000
L1= .4800; TETA1= .0000; L2= .0000; TETA2= .0000
точка M: Ngr= 1; Nzw= 1; XM= .1900; YM= .0000

Результати розрахунку:

F1 – кути повороту кривошипа O_1A відносно нерухомої ланки, рад (через 30°)

F1 .00000 .52360 1.04720 1.57080 2.09439 2.61799
3.14159 3.66519 4.18879 4.71239 5.23598 5.75958

XA 1, YA 1 – координати точки A кривошипа, (координати точки приєднання першої структурної групи до кривошипа)

XA 1 .09000 .07794 .04500 .00000 -.04500 -.07794
-.09000 -.07794 -.04500 .00000 .04500 .07794

YA 1 .00000 .04500 .07794 .09000 .07794 .04500
.00000 -.04500 -.07794 -.09000 -.07794 -.04500

VXA1, VYA1 – аналоги проєкцій швидкості точки A кривошипа на осі X і Y

VXA1 .00000 -.04500 -.07794 -.09000 -.07794 -.04500
.00000 .04500 .07794 .09000 .07794 .04500

VYA1 .09000 .07794 .04500 .00000 -.04500 -.07794
-.09000 -.07794 -.04500 .00000 .04500 .07794

WXA1, WYA1 – аналоги проєкцій нормального прискорення точки A кривошипа на осі X і Y

WXA1 -.09000 -.07794 -.04500 .00000 .04500 .07794
.09000 .07794 .04500 .00000 -.04500 -.07794

WYA1 .00000 -.04500 -.07794 -.09000 -.07794 -.04500
.00000 .04500 .07794 .09000 .07794 .04500

F1, P1 – кути між нерухомою віссю X і локальними осями першої і другої ланок першої структурної групи, рад

F1 1.18657 .97655 .83643 .78426 .79568 .85321
.94721 1.06833 1.20130 1.32061 1.38721 1.35060
P1 -4.48524 -4.68138 -4.71120 -4.60889 -4.44565 -4.27134



ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ: НАУКОВІ ЗАПИСКИ

-4.11760 -4.00507 -3.94737 -3.95587 -4.04522 -4.23042

VF1, VP1 – аналоги кутових швидкостей (перші передаточні функції) першої і другої ланок першої структурної групи

VF1 -.40202 -.35654 -.17685 -.03149 .06969 .14726

.20902 .24890 .25099 .19237 .04508 -.19641

VP1 -.48455 -.22430 .09354 .27329 .33470 .32128

.25949 .16617 .05081 -.08789 -.25926 -.44327

WF1, WP1 – аналоги кутових прискорень (другі передаточні функції) першої і другої ланок першої структурної групи

WF1 -.18528 .29960 .32974 .22807 .16573 .13298

.10083 .04634 -.04564 -.18762 -.38060 -.50425

WP1 .21763 .66627 .48657 .21379 .03503 -.07826

-.15246 -.20080 -.24025 -.29337 -.35889 -.29538

XA2, YA2 – координати точки приєднання першої структурної групи до другої структурної групи, м

XA2 .23244 .29070 .29964 .26901 .22092 .17193

.13190 .10506 .09224 .09408 .11437 .16094

YA2 .35229 .35986 .36000 .35839 .34939 .33129

.30848 .28803 .27641 .27817 .29567 .32582

VXA2, VYA2 – аналоги проєкцій швидкості точки приєднання першої структурної групи до другої структурної групи

VXA2 .14163 .06726 -.02806 -.08155 -.09686 -.08716

-.06448 -.03789 -.01100 .01918 .06110 .11783

VYA2 .03274 .00209 -.00003 -.00847 -.02647 -.04115

-.04362 -.03239 -.01056 .01810 .04813 .06164

WXA2, WYA2 – аналоги проєкцій прискорення точки приєднання першої структурної групи до другої структурної групи

WXA2 -.04775 -.19932 -.14597 -.06148 -.00128 .03445

.04920 .05117 .05253 .06559 .09706 .10584

WYA2 -.08333 -.02128 -.00280 -.02891 -.03519 -.01798

.00890 .03285 .04936 .05872 .05078 -.01116

XB2, YB2 – координати повзуна, м

XB2 .55846 .60835 .61713 .58831 .55005 .51927

.49965 .48904 .48466 .48526 .49249 .51342

YB2 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000

.00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000

VXB2, VYB2 – аналоги проєкцій швидкості повзуна на осі X і Y

VXB2 .10626 .06490 -.02802 -.07204 -.06876 -.04792

-.02789 -.01359 -.00356 .00631 .02347 .06085

VYB2 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000

.00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000

WXB2, WYB2 – аналоги проєкцій прискорення повзуна на осі X і Y

WXB2 .03517 -.17524 -.14280 -.02954 .03155 .04229

.03292 .02226 .01734 .02257 .04748 .09616

WYB2 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000

.00000 .00000 .00000 .00000 .00000 .00000

F2 – кут між нерухомою віссю X і локальною віссю першої ланки другої структурної групи, рад

F2 -.82411 -.84761 -.84806 -.84302 -.81525 -.76175

-.69798 -.64358 -.61365 -.61814 -.66363 -.74613

VF2 – аналог кутової швидкості (перша передаточна функція) першої ланки другої структурної групи

VF2 -.10041 -.00657 .00010 .02653 .08042 .11846

.11861 .08436 .02690 -.04627 -.12728 -.17488

WF2 – аналог кутового прискорення (друга передаточна функція) першої ланки другої структурної групи



WF2 .24470 .06695 .00881 .08976 .10005 .03838
-.03600 -.09089 -.12628 -.15164 -.14696 .00338

MU2– кут передачі руху між ланками другої структурної групи, рад

MU2 -.82411 -.84761 -.84806 -.84302 -.81525 -.76175
-.69798 -.64358 -.61365 -.61814 -.66363 -.74613

FMAX, FMIN – координати повзуна в крайніх положеннях

FMAX= .61956 FMIN= .48430

За отриманими в результаті розрахунку кінематичними характеристиками на рис. 2 і рис.3 показано відповідні діаграми кутових та лінійних швидкостей (побудову таких діаграм за отриманими даними студент виконує самостійно).

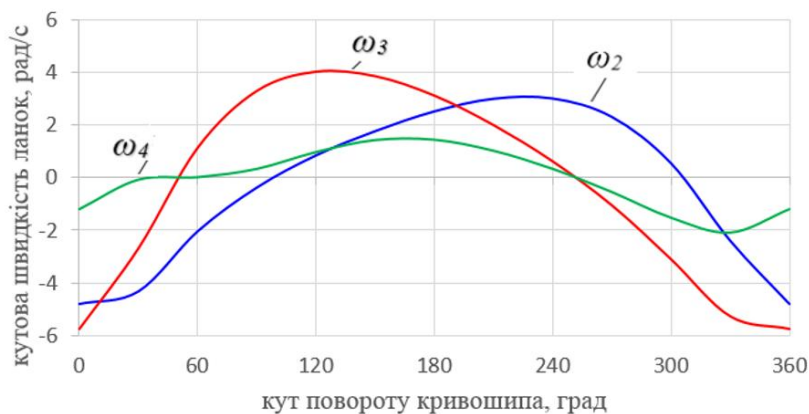


Рис. 2. Діаграми кутових швидкостей ланок

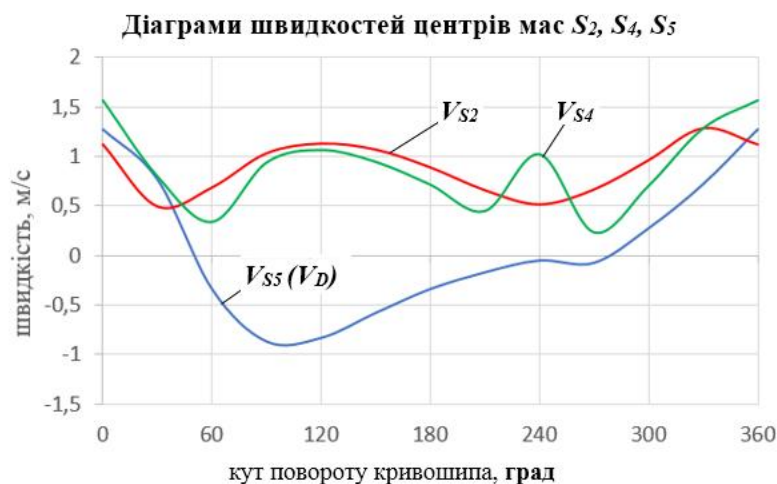


Рис. 3. Діаграми лінійних швидкостей центрів мас ланок



ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ: НАУКОВІ ЗАПИСКИ

Слід зазначити, що користування розробленим програмним модулем суттєво скорочує час на виконання обчислювальних операцій, що дозволяє студенту виконувати серію розрахунків для дослідження впливу геометричних параметрів та структурної будови заданого механізму на його кінематичні характеристики. Отримані навички роботи з програмою *KINEMA* можуть бути корисними при виконанні професійних завдань на виробництві.

В перспективі планується впровадження програмного модуля в навчальний процес з розробкою відповідних рекомендацій.

Висновки. Активне впровадження сучасних програмних засобів під час викладання технічних дисциплін з математичною складовою, спрямовано на формування інформаційно-комунікаційної компетентності майбутнього фахівця. Використання в навчальному процесі розробленого програмного модулю *KINEMA* для кінематичного аналізу механізму виключає необхідність виконання допоміжних графічних робіт і, як наслідок, суттєво скорочує час обчислювальних операцій. В результаті у здобувача вищої освіти з'являється можливість для більш детального аналізу отриманих кінематичних характеристик і пошуку оптимальних варіантів за заданими кінематичними критеріями. Робота з програмою потребує від студента більш глибокого вивчення структурної будови механізму, що сприяє підвищенню якості отриманих знань. Форма подання отриманих результатів у вигляді аналогів швидкостей та прискорень також передбачає додаткове відпрацювання основних положень розділу «Теорії механізмів і машин», як «Кінематичні передаточні функції».

Результати розрахунків за модулем *KINEMA* можуть бути використані, як підґрунтя для розробки програми динамічного аналізу механізму.



Список використаних джерел

1. Deb D., Dey R., Balas V. E. Engineering Research Methodology: A Practical Insight for Researchers. Singapore : Springer Nature, 2019. 133 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2947-0>. URL: <https://read.kortext.com/library/books/819605?q=Engineering%20Research%20Methodology&tab=search>.
2. Valentin Molotnikov; Antonina Molotnikova Theoretical and Applied Mechanics. 1st ed. 2023 Edition. Springer. Nature URL: <https://read.kortext.com/library/books/2092371>.
3. Теоретична та прикладна механіка. Короткий курс /О.Д. Романюк, Л.П. Теліпко, С.В. Ракша. Кам'янське: ДДТУ, 2021. 282 с. Режим доступу: <https://btpm.nmu.org.ua/ua/download/navch-posib.pdf>. (дата звернення: 08.08.2024).
4. Кайдаш М.Д. Динаміка маніпулятора з двома обертальними кінематичними парами / Комплексне забезпечення якості технологічних процесів і систем: зб. матеріалів VI міжнар. наук.- практ. конф. (м. Чернігів, 26-29 квітня 2016 р. Чернігів : РВВ ЧНТУ, 2016. С. 137-139.
5. Головіна Н., Головін М. Методичні особливості моделювання фізичних явищ на прикладі взаємодіючих коливань. Фізика та освітні технології. 2021. №2. С. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.32782/pet-2021-2-1>.
6. Kaidan V., Velychko V., Fedorenko E. & Kaidan N.. The use of computer modeling in the educational process based on the example of studying Coulomb's law. Journal of Physics: Conference Series, Volume 2871, XVI International Conference on Mathematics, Science and Technology Education (ICon-MaSTEd 2024) 15/05/2024 - 17/05/2024 Kryvyi Rih, Ukraine, 2024. DOI:10.1088/1742-6596/2871/1/012014.



7. Мічіо Кайку. Фізика майбутнього / Переклала з англ. Анжела Кам'янець. Львів: Літопис, 2018. 432 с. Режим доступу: <http://flibusta.is/b/436614>.
8. Теоретичні та практичні аспекти використання математичних методів та інформаційних технологій в освіті й науці: моногр. / за заг. ред. О. Литвин. — К.: Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2021. — 332 с.
9. Михалевич В.М. Використання систем комп'ютерної математики у процесі навчання студентів ВНЗ : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2016. 279 с.
10. Дяденчук А. Ф. Використання MS Excel при розв'язуванні задач у загальному курсі фізики. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції. Черкаси, 2021. с. 199-201.
11. Стьопкін А.В. Лук'янова Д.Ю. Використання системи комп'ютерної математики при викладанні точних наук. Духовність особистості: методологія, теорія і практика, 2016. Вип. 2. С. 190-196.
12. Гераїмчук, М. Д. Моделювання систем у середовищі MATLAB-SIMULINK [Електронний ресурс] : комп'ютерний практикум / М. Д. Гераїмчук, Ю. Ф. Лазарєв, Т. О. Толочко ; НТУУ «КПІ». – Київ : НТУУ «КПІ», 2006. – 175 с.
13. Комп'ютерне моделювання фізичних систем і процесів [Електронний ресурс] : лаб. практикум : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів» спец. 104 Фізика та астрономія / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М. О. Ніколов, М. В. Чурсанова. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 82 с.



ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ:
НАУКОВІ ЗАПИСКИ

14. Monagan M.B., Geddes K.O., Heal K.M., Labahn G., Vorkoetter S.M., McCarron J., DeMarco P. Maple Advanced Programming Guide Maplesoft (15 version), a division of Waterloo Maple Inc, 2009. 452 p.

15. Юнчик В. Федонюк А. Порівняльна характеристика функціональних можливостей систем комп'ютерної математики в процесі розв'язування задач [Електронний ресурс]. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі, 2019. Вип. 6. С. 90-102. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPICM_2019_6_10 (дата звернення: 08.08.2024).