

DOI <https://doi.org/10.32782/2307-9770.2025.13.04.05>  
UDC 531.4:378.147

## Development of a practical case for studying ballistic motion

Istomina, N.\*, Konokh, I.

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine

**Received:** 01.12.2025

**Accepted:** 23.12.2025

**Abstract.** The article addresses the problem of improving the effectiveness of studying ballistic motion within the physics curriculum of higher education institutions under conditions of blended and distance learning. The purpose of the study is to develop and substantiate a practical case for studying ballistic motion that integrates the theoretical foundations of classical mechanics, computer modeling, and students' research activities in order to foster subject-specific and digital competencies. The research methodology is based on an inquiry- and modeling-oriented approach to learning and involves a staged organization of educational activities, including problem formulation, theoretical analysis, mathematical and computer modeling, performance of research tasks, critical analysis of results, generalization, and reflection. Within the proposed case, classical equations of motion, principles of force decomposition into projections, integration of differential equations, and structural modeling methods are employed, followed by the implementation of the model in the Matlab Simulink environment. Particular attention is paid to determining the initial conditions of motion and analyzing the influence of the launch angle, initial force, body mass, and launch height on the characteristics of the trajectory. The results of the study consist in the development of a comprehensive practical case that enables students to visualize ballistic motion, independently vary model parameters, analyze the resulting trajectories, flight time, and range, and establish cause-and-effect relationships between physical quantities. It is demonstrated that the use of computer modeling promotes a deeper understanding of the physical nature of the phenomenon, enhances learning motivation, and activates students' cognitive engagement. The originality of the study lies in combining the classical analytical description of ballistic motion with its structural representation and computer-based implementation within a single educational case, which makes it possible to integrate physics, mathematics, and information technologies into a unified learning process. The practical significance of the work lies in the possibility of using the developed case during laboratory and practical physics classes in face-to-face, distance, and blended learning formats, as well as in the training of engineering and technical specialists. The proposed approach can be adapted to different levels of students' prior knowledge and used to modernize the methodology of teaching mechanics in accordance with the competency-based approach.

**Key words:** physics education; inquiry-based learning; computer simulation; structural modeling; Matlab Simulink; classical mechanics; projectile dynamics; STEM education; digital competencies; higher education, training students in automation.

## Розробка практичного кейсу з вивчення балістичного руху

Істоміна Н. М., Конох І. С.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна

**Анотація.** У статті розглянуто проблему підвищення ефективності вивчення теми балістичного руху в курсі фізики у закладах вищої освіти в умовах змішаного та дистанційного навчання. Метою дослідження є розробка та обґрунтування практичного кейсу з вивчення балістичного руху, що поєднує теоретичні положення класичної механіки, комп'ютерне моделювання та дослідницьку діяльність здобувачів освіти з метою формування предметних і цифрових компетентностей. Методологія дослідження ґрунтується на дослідницько-моделювальному підході до навчання та включає поетапну організацію навчальної діяльності: проблемну постановку, теоретичне опрацювання матеріалу, математичне й комп'ютерне моделювання, виконання дослідницьких завдань, критичний аналіз результатів, узагальнення та рефлексію. У межах кейсу використано класичні рівняння руху, принципи розкладання сил на проєкції, інтегрування диференціальних рівнянь та методи структурного моделювання з подальшою реалізацією моделі в середовищі Matlab Simulink. Особливу

---

\* **Corresponding Author:** Istomina Nataliia Mykolaivna. E-mail: nmistomina@gmail.com  
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University,  
vul. Universytetska, 20, Kremenchuk, Poltava Region, Ukraine, 39600.

**Відповідальний автор:** Істоміна Наталія Миколаївна. E-mail: nmistomina@gmail.com  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,  
вул. Університетська, 20, м. Кременчук Полтавської обл., Україна, 39600.

увагу приділено визначенню початкових умов руху, аналізу впливу кута кидка, початкової сили, маси тіла та висоти старту на характеристики траєкторії. Результати дослідження полягають у створенні цілісного практичного кейсу, який дозволяє здобувачам освіти візуалізувати балістичний рух, самостійно змінювати параметри моделі, аналізувати отримані траєкторії, час польоту та дальність кидка, а також встановлювати причинно-наслідкові зв'язки між фізичними величинами. Показано, що застосування комп'ютерного моделювання сприяє глибшому розумінню фізичної сутності явища, підвищує мотивацію до навчання та активізує пізнавальну діяльність здобувачів освіти. Оригінальність дослідження полягає у поєднанні класичного аналітичного опису балістичного руху з його структурним поданням та комп'ютерною реалізацією в межах одного навчального кейсу, що дозволяє інтегрувати фізику, математику та інформаційні технології в єдиний навчальний процес. Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленого кейсу під час проведення лабораторних і практичних занять з фізики в очному, дистанційному та змішаному форматах, а також у процесі підготовки фахівців інженерних і технічних спеціальностей. Запропонований підхід може бути адаптований до різних рівнів підготовки здобувачів освіти та використаний для модернізації методики викладання механіки відповідно до компетентнісного підходу.

**Ключові слова:** фізична освіта; навчання на основі дослідницьких робіт; комп'ютерне моделювання; структурне моделювання; Matlab Simulink; класична механіка; динаміка снарядів; STEM-освіта; цифрові компетенції; вища освіта, навчання студентів автоматизації.

## *I Вступ*

Згідно з [1] актуальність розробки практичних кейсів суттєво зростає в умовах воєнного стану в Україні, який супроводжується постійними повітряними тривогами, загрозами ракетних та артилерійських обстрілів, а також обмеженнями щодо проведення очних занять. Освітній процес у таких умовах зазнав істотних змін [2] і дедалі частіше реалізується у форматі змішаного або дистанційного навчання [3, 4, 5], що вимагає переосмислення підходів до викладання фізики та пошуку ефективних альтернатив традиційним лабораторним і практичним роботам. У сучасних умовах розвитку освіти дедалі більшого значення набуває поєднання фундаментальної теоретичної підготовки з практичною орієнтацією навчального процесу [6, 7, 8]. Особливо це стосується природничо-наукових дисциплін, зокрема фізики [9, 10], де абстрактні математичні моделі нерідко сприймаються здобувачами освіти як відірвані від реальних процесів і повсякденного досвіду. З іншого боку в умовах регулярних переривань занять через повітряні тривоги та перебування здобувачів освіти в укриттях зменшується можливість повноцінного використання фізичних лабораторій, демонстраційного обладнання та експериментальних установок. У цьому контексті комп'ютерне моделювання та практичні кейси на основі цифрових інструментів набувають особливої значущості, оскільки дозволяють забезпечити безперервність навчального процесу незалежно від місця перебування учасників освітнього процесу.

Однією з таких тем є балістичний рух тіла, який традиційно вивчається в межах кінематики та динаміки і розглядається переважно з позицій ідеалізованих моделей [11, 12].

Балістичний рух є важливим фізичним явищем [13, 14], що має широке застосування в різних галузях науки і техніки: від механіки та аеродинаміки до інженерії, авіації, космічних технологій, спортивної науки та військової справи. Водночас у процесі навчання ця тема часто обмежується розв'язуванням стандартних розрахункових задач, які не формують у здобувачів освіти цілісного уявлення про фізичну сутність явища, роль початкових умов, вплив зовнішніх чинників і практичне значення отриманих результатів.

Використання практичного кейсу з балістичного руху в дистанційному форматі дозволяє здобувачам освіти самостійно досліджувати фізичні процеси, змінювати параметри моделі, аналізувати результати та робити висновки без необхідності фізичної присутності в навчальній аудиторії. Це особливо важливо в умовах нестабільного освітнього середовища, коли доступ до навчальних ресурсів може бути обмежений, а заняття проводяться асинхронно [15, 16]. Також така розробка дозволяє активізувати пізнавальну діяльність здобувачів освіти. Залучення здобувачів до побудови моделей, аналізу реальних фізичних ситуацій, дослідження відмінностей між ідеалізованими та реальними умовами руху сприяє підвищенню мотивації до вивчення фізики та формуванню наукового світогляду. Крім того, практичний кейс дозволяє адаптувати навчальний матеріал до різних рівнів підготовки здобувачів освіти та реалізувати індивідуальний підхід [17, 18].

Також актуальність розробки практичного кейсу з вивчення балістичного руху зумовлена необхідністю модернізації методів навчання фізики відповідно до компетентнісного підходу. Сучасні

освітні стандарти орієнтують викладачів на формування не лише предметних знань, а й умінь аналізувати фізичні процеси, моделювати їх, використовувати цифрові інструменти та інтерпретувати результати моделювання. Саме практичні кейси дозволяють реалізувати ці вимоги шляхом інтеграції теоретичних знань із прикладними завданнями.

Особливу цінність у навчальному процесі має використання комп'ютерного моделювання, яке дає змогу візуалізувати траєкторію руху тіла, дослідити вплив початкової швидкості, кута кидка, висоти старту та сили опору повітря на характер руху. Застосування програмних засобів, зокрема мов програмування загального призначення, сприяє розвитку міждисциплінарних зв'язків між фізикою, математикою та інформатикою, що є важливим аспектом підготовки сучасного фахівця [19, 20].

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена необхідністю вдосконалення методики викладання теми балістичного руху шляхом впровадження практичного кейсу, що поєднує теоретичні знання, комп'ютерне моделювання та аналіз реальних фізичних процесів, а також сприяє формуванню предметних і ключових компетентностей здобувачів освіти.

*Метою статті* є підвищення ефективності засвоєння фізичних знань шляхом поєднання теоретичних положень, комп'ютерного моделювання та аналізу реальних прикладів балістичного руху за допомогою розробки практичного кейсу з вивчення балістичного руху.

## **II Матеріал і методи дослідження**

Для розробки практичного кейсу ми використовуємо дослідницько-моделювальний метод навчання. Структура методу складається з таких етапів.

*Етап 1. Проблемна постановка.*

Мета етапу – виклик пізнавального інтересу, формування навчальної проблеми.

Зміст: Викладач пропонує таку ситуацію: ми кидаємо металевий шарик. Здобувачі формують відповіді на такі питання: як далеко полетить такий шарик; за якою траєкторією.

Засоби: проблемні запитання викладача; відеофрагменти (кидок м'яча у спорті, політ снаряда); демонстраційні матеріали (анімації траєкторій); інтерактивна дошка або мультимедійний проектор.

Цифрові інструменти: презентація (PowerPoint, Google Slides); коротке відео з високою частотою кадрів.

*Етап 2. Теоретичне навчання.*

Мета: формування базових знань і фізичного апарату.

Зміст: Викладач за допомогою візуальних методів пояснює фізичні принципи руху тіла кинутого під кутом із заданою швидкістю.

Засоби: конспект лекції з виведенням рівнянь руху; навчальні посібники з механіки; опорні схеми та формули; роздаткові матеріали з умовами задач.

Цифрові інструменти: слайди з формулами; електронні підручники; віртуальна дошка.

*Етап 3. Математичне (комп'ютерне) моделювання.*

Мета: перехід від теорії до формалізованої моделі, наочне представлення результатів моделювання.

Зміст: на базі відомих рівнянь здобувачі обчислюють траєкторію для заданих кута, швидкості та висоти, використовуючи принципи структурного моделювання.

Засоби: персональні комп'ютери або ноутбуки; готовий або частково підготовлений Python-код; приклад структурної моделі; інструкція до лабораторної роботи.

Цифрові інструменти: IDE (IDLE, VS Code, PyCharm); Mathcad або MATLAB (для поглибленого аналізу).

*Етап 4. Дослідницьке завдання.*

Мета: формування навичок самостійного дослідження.

Зміст: Здобувачі перероблюють схему таким чином, щоб дослідити різні варіанти кутів, швидкості та висоти.

Засоби: варіативні індивідуальні завдання; таблиці для фіксації результатів; методичні рекомендації.

Цифрові інструменти: IDE (IDLE, VS Code, PyCharm); Mathcad або MATLAB.

*Етап 5. Критичний аналіз.*

Мета: усвідомлення обмежень математичної моделі.

Зміст: Викладач та здобувачі у дискусії визначають обмеження моделі.

Засоби: порівняльні таблиці (ідеальна / реальна модель); дискусійні питання; приклади реальних фізичних об'єктів (куля, кубик, яйце).

Цифрові інструменти: симулятори з урахуванням опору повітря; відео реальних експериментів; наукові статті та довідкові матеріали.

*Етап 6. Узагальнення та рефлексія.*

Мета: систематизація знань і формування висновків.

Зміст: Здобувачі формують висновки, описують порівняння з реальними прикладами.

Засоби: підсумкові таблиці; схеми узагальнення; рефлексивні запитання.

Цифрові інструменти: LMS (Moodle, Google Classroom); онлайн-опитування (Forms); презентації студентів; звіт лабораторної роботи.

*Етап 7. Оцінювання результатів навчання.*

Мета: перевірка сформованих компетентностей.

Зміст: Викладач перевіряє закріплені знання та навички.

Засоби: тестові завдання; захист лабораторної роботи; аналіз програмного коду; усне опитування.

Цифрові інструменти: автоматизовані тести в LMS; перевірка Python-проектів.

*Очікувані компетентності після заняття:*

- розуміння законів балістичного руху;
- уміння формувати і досліджувати математичну модель;
- формування навичок комп'ютерного моделювання і візуалізації;
- здатність пояснювати відмінності між ідеальною моделлю та реальною траєкторією.

### **III Результати**

В результаті розробки був сформований такий практичний кейс.

*Етап 1. Проблемна постановка.*

Викладач розпочинає заняття вступними словами, які супроводжуються фото або відео, що демонструє кидання предметів: «Сьогодні ми вивчаємо балістичний рух. Кожен кидок, якимось талом (об'єкту) є прикладом такого руху». Здобувачам пропонується припустити, якими будуть правильні відповіді на такі питання:

- якою буде траєкторія польоту тіла після кидка;
- як далеко тіло полетить;
- які сили діють на тіло в польоті;
- від чого залежить швидкість кинутого тіла;
- як впливає форма тіла на політ.

*Очікувані результати етапу 1.*

Здобувачі повинні визначитись, що:

- траєкторія буде схожа на параболу;
- відстань, яку пролетить тіло, залежить від сили кидка, висоти з якої кидають, кута під яким кидають;
- в польоті на тіло діє сила тяжіння та опір повітря;
- швидкість залежить від того, як кинути тіло, форми тіла, його маси;
- чим ближче форма тіла до «аеродинамічної» тим довшим буде політ; кинуте тіло може обертатись у польоті.

Якщо здобувачі не проговорюють всі зазначені результати у дискусії, викладач використовує навідні питання, щоб всі результати були досягнуті.

*Етап 2. Теоретичне навчання.*

Викладач демонструє підходи до опису балістичного руху. Класичне визначення такого руху: «це рух тіла у повітряному (або космічному) просторі під дією лише сили тяжіння та опору повітря, без роботи двигунів; це траєкторія, що нагадує параболу». Здобувачі отримують у стислому виді визначення

балістичного руху і бачать, що класичне визначення, майже не відрізняється від гіпотез, що обговорювались на попередньому етапі. Тобто, у загальному випадку, кожна людина, яка коли-небудь в житті кидала м'яч, може правильно описати принципи балістичного руху.

Здобувачам тепер пропонується чітко відповісти на таке питання: «маємо кулю вагою 1 кг, кидаємо її з силою у 10 Н під кутом  $45^\circ$ , скільки метрів пролетить куля?». На таке питання не можливо дати точну відповідь без проведення розрахунків.

У класичному викладені, пропонується таке система рівнянь для знаходження координат тіла при балістичному русі:

$$\begin{aligned} x(t) &= v_0 \cdot \cos(\alpha) \cdot t + x_0, \\ y(t) &= v_0 \cdot \sin(\alpha) \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2} + y_0, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $v_0$  – початкова швидкість руху тіла;  $x_0$  – початкова координата за віссю  $x$ , оскільки за початок відліку приймається момент кидка, то найчастіше приймають,  $x_0 = 0$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $y_0$  – початкова координата за віссю  $y$ , визначається висотою з якої кидають тіло;  $\alpha$  – кут, під яким кидають тіло.

На нашу думку такий підхід є не до кінця зрозумілим для здобувачів, оскільки не містить в собі причинно-наслідкового опису процесу кидка та подальшого руху тіла. До того ж наведені рівняння не містять даних про характеристики тіла, наприклад, його масу.

Ми пропонуємо для опису використовувати класичне рівняння руху:

$$m \cdot a = \sum_{i=1}^n F_i, \quad (2)$$

де  $m$  – маса тіла, кг;  $a$  – прискорення тіла, м/с<sup>2</sup>;  $F_i$  – сили, що діють на тіло.

У рівнянні (2) сума сил – це сума їх векторів. Знаходження векторної суми векторів являється складною аналітичною задачею, тому краще переходити до їх проекцій на осі  $x$  та  $y$ :

$$\begin{aligned} m \cdot a_x &= \sum_{i=1}^n F_{ix}, \\ m \cdot a_y &= \sum_{i=1}^n F_{iy}. \end{aligned} \quad (3)$$

Тут викладач акцентує увагу здобувачів, що прискорення являється похідною від швидкості, та похідною другого порядку від переміщення:

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{d}{dt} v_x = \frac{d}{dt} \left( \frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2 x}{dt^2}, \\ a_y &= \frac{d}{dt} v_y = \frac{d}{dt} \left( \frac{dy}{dt} \right) = \frac{d^2 y}{dt^2}. \end{aligned}$$

І, відповідно, для отримання значень координат руху тіла та швидкості достатньо послідовно виконати інтегрування прискорення.

Систему рівнянь (3) запишемо відносно прискорень:

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n F_{ix}, \\ a_y &= \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n F_{iy}, \end{aligned} \quad (4)$$

а прискорення представимо у вигляді похідних,

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n F_{ix}, \quad (5)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n F_{iy},$$

Як відомо, результат інтегрування функції такий:

$$\int \frac{df(t)}{dt} dt = f(t) + C,$$

де  $C$  – невизначена стала.

Для нашої задачі ці сталі є абсолютно визначеними. Якщо ми виконаємо перше інтегрування у системі рівнянь (5), отримаємо:

$$\frac{dx}{dt} = v_{Fx} + v_{0x}, \quad (6)$$

$$\frac{dy}{dt} = v_{Fy} + v_{0y},$$

де  $v_{Fx}$ ,  $v_{Fy}$  – визначають вплив прикладених сил на швидкість тіла,

$$v_{Fx} = \int \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n F_{ix} dx, \quad (7)$$

$$v_{Fy} = \int \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n F_{iy} dy,$$

$v_{0x}$ ,  $v_{0y}$  – проекції початкової швидкості на осі  $x$  та  $y$  (рис. 1),

$$v_{0x} = v_0 \cos(\alpha), \quad (8)$$

$$v_{0y} = v_0 \sin(\alpha).$$

де  $v_0$  – вектор початкової швидкості (рис. 1),

$$v_0 = \frac{F_{in}}{m}, \quad (9)$$

де  $F_{in}$  – початкова сила, прикладена до тіла, Н.

Якщо виконати наступне інтегрування у системі рівнянь (6), отримаємо:

$$x = \int (v_{Fx} + v_{0x}) dx + x_0, \quad (10)$$

$$y = \int (v_{Fy} + v_{0y}) dy + y_0,$$

де  $x_0$ ,  $y_0$  – початкові значення координат.

Як наведено на рис. 1., на початку ми маємо тіло, масою  $m$ , яке кидають з силою  $F_{in}$ , з висоти  $y_0$ , під кутом  $\alpha$ . В результаті тіло починає летіти зі швидкістю  $v_0$ .

У польоті на тіло впливають сила опору повітря  $F_{AR}$  (направлена завжди протилежно вектору руху) та сила тяжіння  $F_G$  (рис. 2), відповідно узагальнена сила, що діє на тіло, описується як сума векторів:

$$\vec{F} = \vec{F}_{AR} + \vec{F}_G. \quad (11)$$

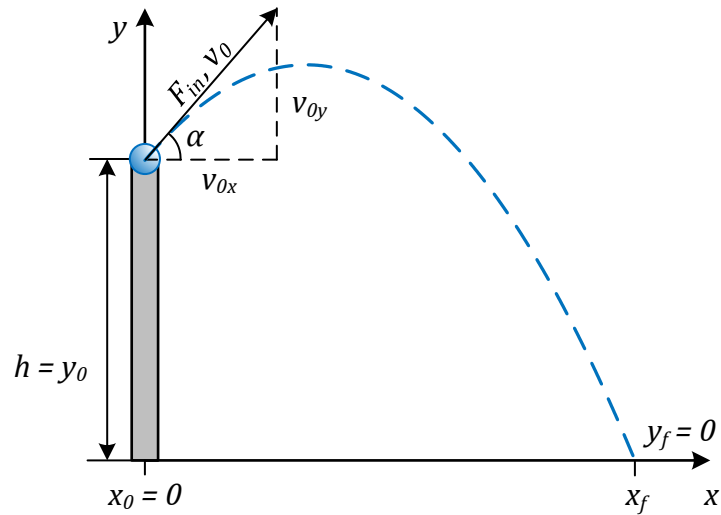


Рис. 1. Визначення початкових умов при киданні тіла

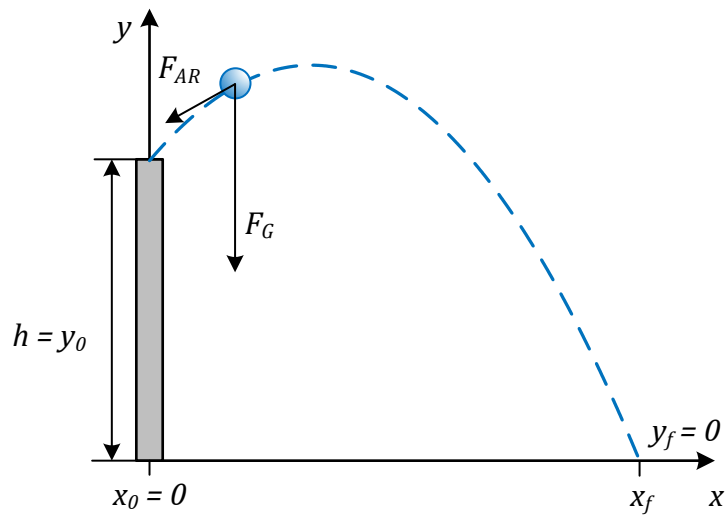


Рис. 2. Визначення сил, що впливають на тіло у польоті

Тут слід враховувати, що вектор сили опору повітря буде змінювати свою направленість протягом польоту (рис. 3). Відповідно будуть змінюватись і проєкції сили опору повітря на осі  $x$  та  $y$  (рис. 4).

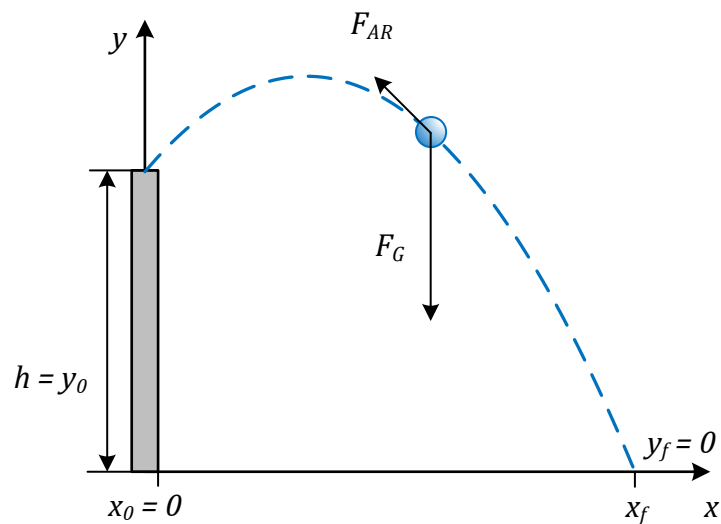


Рис. 3. Зміна вектору сили опору повітря

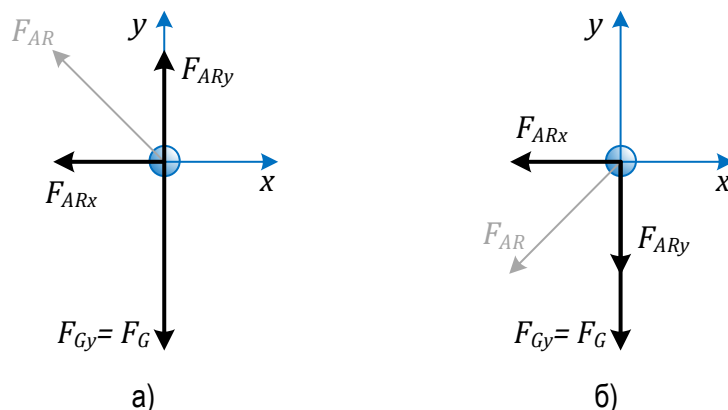


Рис. 4. Проекції сил, що діють на тіло: а – коли тіло летить вгору, б – коли тіло летить вниз

Саме тому, якщо мова йде про невеликі за розміром предмети, які летять з малою швидкістю, силою опору повітря часто нехтують. Тоді систему рівнянь (5) можна записати так:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{m} \cdot 0, \quad (12)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{1}{m} \cdot (-F_{Gy}).$$

Тепер, маючи теоретичну базу, здобувачі можуть перейти до наступного етапу і отримати розв'язок задачі при визначених початкових умовах.

*Очікувані результати етапу 2.*

Здобувачі набувають знань про:

- рівняння балістичного руху;
- сили, що впливають на тіло;
- принципи розкладання сил на проєкції;
- порядок визначення початкових умов руху;
- зв'язок між координатами, швидкістю та прискоренням;
- спрощення, що використовуються при формулюванні математичного опису.

*Етап 3. Математичне (комп'ютерне) моделювання.*

Ми пропонуємо розв'язувати цю задачу використовуючи принципи структурного моделювання та перетворення Лапласа. Тоді базовою системою рівнянь буде система (5), записана у формі перетворень Лапласа:

$$x \cdot S^2 = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n F_{ix}, \quad (13)$$

$$y \cdot S^2 = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^n F_{iy}.$$

Відповідно, з позицій структурного моделювання, кожне з цих рівнянь можна представити схемою, як наведено на рис. 5: для визначення сигналу прискорення  $a$  потрібно знайти суму прикладених до тіла сил та розділити отриману суму на масу тіла  $m$ . Для отримання проєкцій швидкості потрібно до наведеної структури додати ланку інтегрування, як наведено на рис. 6: на виході ми отримаємо результат інтегрування, тобто складову швидкості, яка визначається впливом прикладених сил, до якої потрібно додати сталі  $v_{0x}$  та  $v_{0y}$ . Сумарна швидкість також подається на ланку інтегрування для отримання координати тіла, яка визначається впливом прикладених сил (рис. 7), до якої також потрібно додати сталу після інтегрування. В даному випадку – це початкові значення координат  $x_0, y_0$

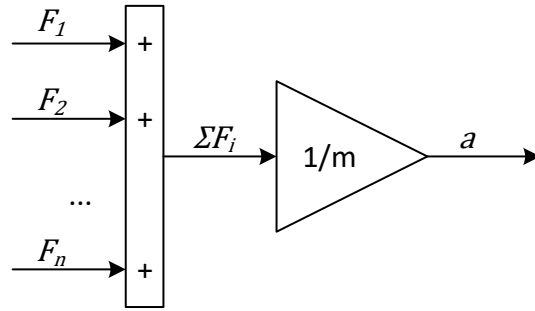


Рис. 5. Представлення рівняння руху структурною схемою

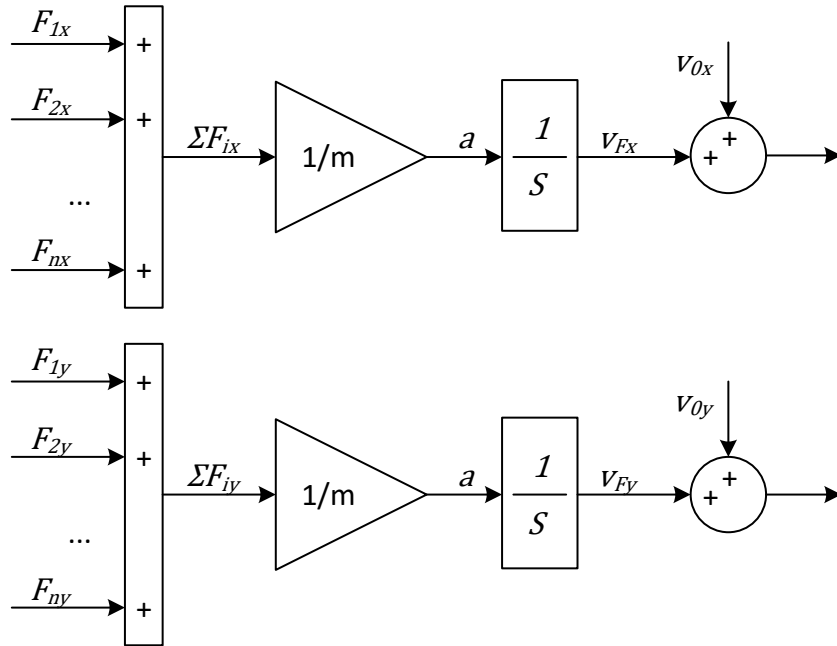


Рис. 6. Отримання проєкцій швидкості тіла

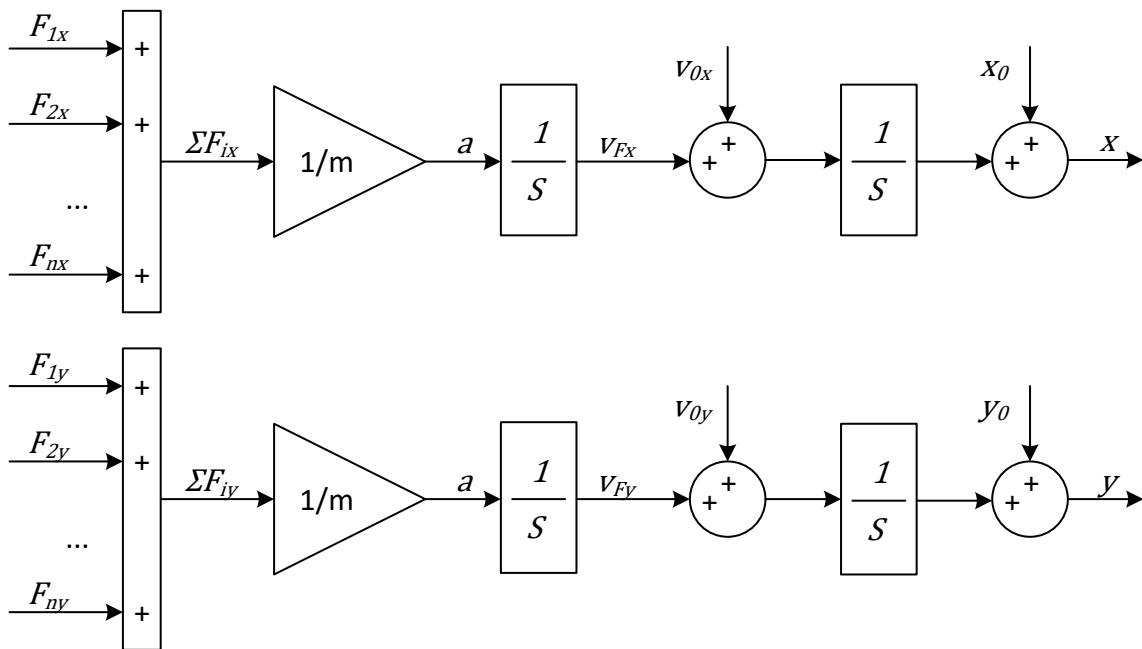


Рис. 7. Отримання координат тіла

На основі наведеної схеми здобувачі переходять до моделювання балістичного руху. Їм необхідно вирішити задачу визначення проєкцій сил, що прикладені до тіла, проєкцій початкових швидкостей та початкових координат. Для розв'язання цієї задачі викладач пропонує студентам використати пакет Matlab Simulink, як зручний засіб для структурного моделювання. В результаті здобувачі повинні побудувати структурну схему моделі, подібну до наведеної на рис. 8. Реалізація може відрізнятися від наведеної. Ключовими позиціями є завдання даних, що описують кидок тіла, обчислення на їх основі проміжних даних, та завдання сил, прикладених до тіла.

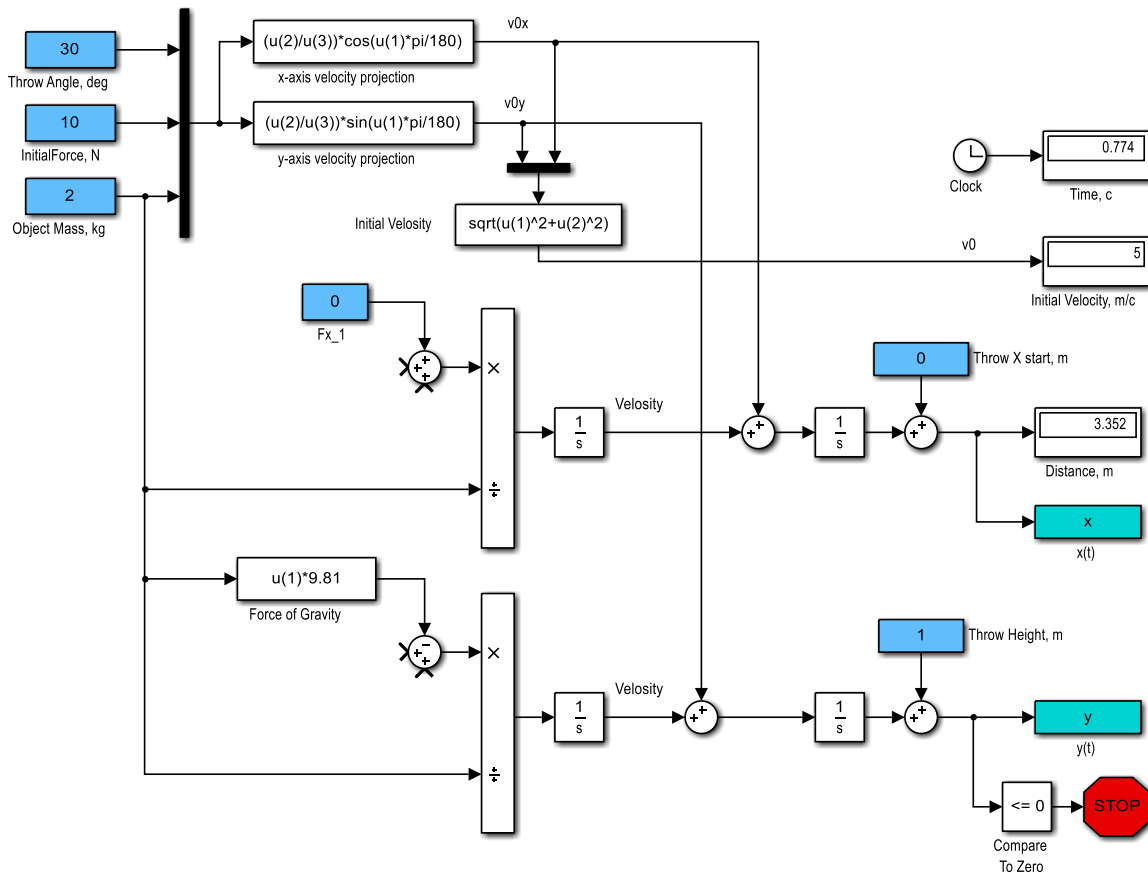


Рис. 8. Реалізація математичної моделі

Джерела сигналів в моделі можна розділити на дві групи:

- опис тіла, що кидають: кут, під яким кидають тіло, заданий у градусах (Throw Angle, deg); початкова сила, з якою кидають тіло (Initial Force, N); маса об'єкта (Object Mass, kg);
- опис початкового положення тіла: початкова координата за віссю  $x$  (Throw X start, m); висота, з якої кидають тіло (Throw Height, m).

Сигнали вхідних даних, заведені на блоки, в яких обчислюються проєкції початкової швидкості, за такими формулами:

$$v_{0x} = \frac{F_{in}}{m} \cdot \cos\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right), \quad (14)$$

$$v_{0y} = \frac{F_{in}}{m} \cdot \sin\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right).$$

Оскільки кути, задані в градусах, а Matlab виконує розрахунки у радіанах, потрібно зробити відповідні перетворення. В моделі це реалізовано за допомогою об'єднання сигналів вхідних джерел у загальну шину (через блок мультиплекса «Mux») та їх заведення на блоки «User-defined function».

На основі отриманих  $v_{0x}$  та  $v_{0y}$  обчислюється модуль початкової швидкості:

$$v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}. \quad (15)$$

Окремо виділені джерела прикладених до тіла сил. Згідно з системою рівнянь (12), при нехтуванні сили опору повітря, на тіло діє лише сила тяжіння з від'ємним знаком.

Останнім кроком є додавання до моделі засобів перегляду і фіксації результатів за допомогою блоків «Display» та «To Workspace».

Також до моделі додано блок «Stop», який використовується для зупинки симуляції, коли перестає виконуватись така умова: поточне значення координати  $y$  повинно бути більшим або дорівнювати нулю.

Для побудови графіку в цьому випадку потрібно використати набір таких команд (їх можна задавати в один рядок через «;»):

- побудувати графік з налаштуванням товщини лінії 2 пт: `plot(x, y, 'LineWidth', 2);`
- включити сітку: `grid on;`
- додати підписи по осям: `xlabel('x, м'); ylabel('y, м');`
- обмежити межі графіку по осі  $y$ : `ylim([0 max(y)])`.

В результаті отримаємо графік, як наведено на рис. 9.

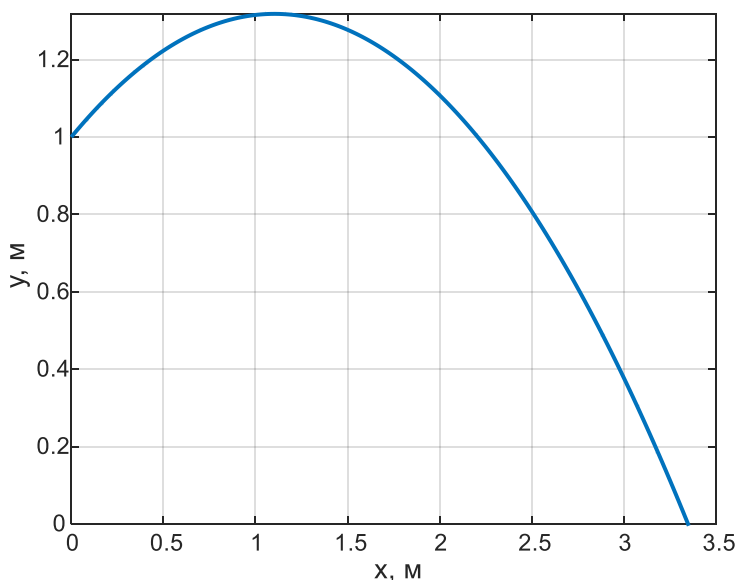


Рис. 9. Реалізація математичної моделі

*Очікувані результати етапу 3.*

Здобувачі набувають навичок з:

- розв'язання диференціальних рівнянь та їх систем за допомогою структурного моделювання;
- використання пакету Matlab Simulink для побудови математичних моделей;
- математичного моделювання балістичного руху.

*Етап 4. Дослідницьке завдання.*

На цьому етапі викладач ставить перед здобувачами завдання дослідити рух тіла після кидка для різних випадків: при різних кутах кидання, силах кидка, масах тіла та висот, з яких кидають тіло. При цьому для виконання цього завдання здобувачі будують серії графіків та заповнюють таблицю із значеннями початкової швидкості польоту, часу падіння та відстані, яку пролетить тіло, при різних вхідних даних.

При дослідженні польоту тіл різної маси та таких незмінних даних  $\alpha = 30^\circ$ ,  $F_{in} = 10$  Н,  $h = 1$  м отримані результати наведені у табл. 1 та на рис. 10.

Сформуване твердження: збільшення маси значно скорочує відстань, яку пролітає кинуте тіло, відповідно скорочується і час кидка.

Табл. 1. Результати дослідження балістичного руху для тіл різної маси

Маса, кг	Час польоту, с	Початкова швидкість, м/с	Відстань, м
1	1,191	10	10,31
2	0,774	5	3,352
3	0,653	3,333	1,885

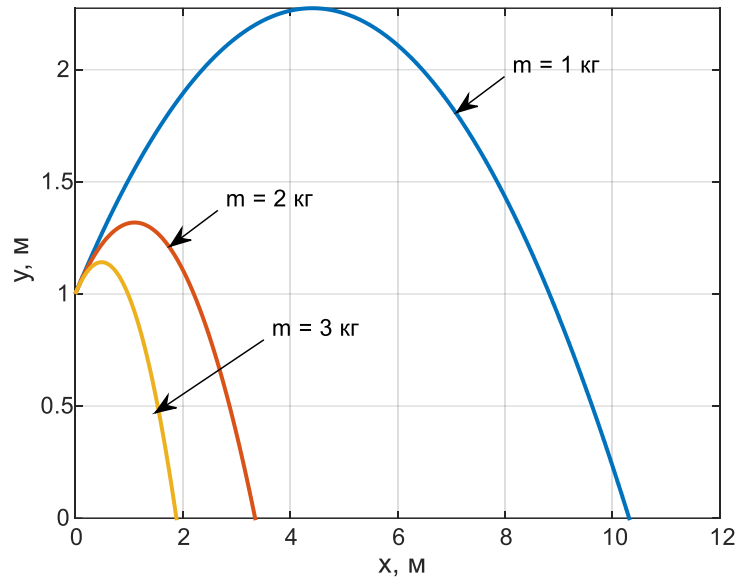


Рис. 10. Дослідження балістичного руху для тіл різної маси

При дослідженні польоту тіла, кинутого під різними кутами та таких незмінних даних  $m = 1$  кг,  $F_{in} = 10$  Н,  $h = 1$  м, отримані результати наведені у табл. 2 та на рис. 11.

Табл. 2. Результати дослідження балістичного руху для різних кутів

Кут, град	Час польоту, с	Початкова швидкість, м/с	Відстань, м
70	2,017	10	6,899
50	1,683	10	10,82
30	1,191	10	10,31

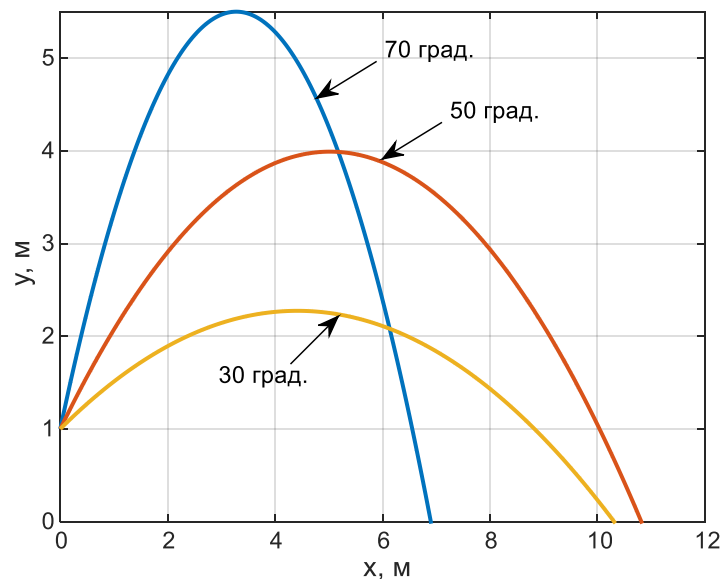


Рис. 11. Дослідження балістичного руху для тіл різної маси

Сформоване твердження: збільшення кута спочатку веде до незначного збільшення відстані, яку пролітає тіло, а потім к значному скороченню цієї відстані. Додаткові дослідження показують, що граничні значення кута  $40^{\circ} - 45^{\circ}$ .

При дослідженні польоту тіла, кинутого з різною силою та таких незмінних даних  $m = 1 \text{ кг}$ ,  $\alpha = 30^{\circ}$ ,  $h = 1 \text{ м}$ , отримані результати наведені у табл. 3 та на рис. 12.

Табл. 3. Результати дослідження балістичного руху для різних кутів

Сила кидка, Н	Час польоту, с	Початкова швидкість, м/с	Відстань, м
10	1,191	10	10,31
20	2,135	20	36,98
30	3,124	30	81,16

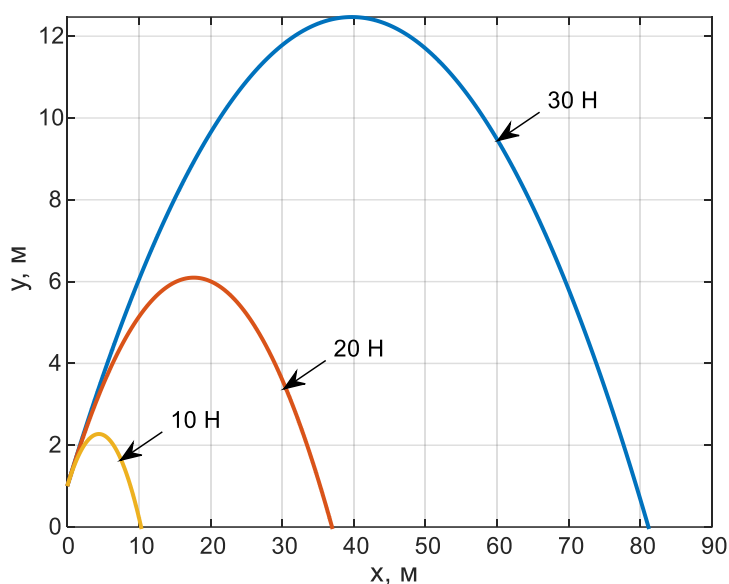


Рис. 12. Дослідження балістичного руху для різної сили кидка

Сформоване твердження: збільшення сили кидка має визначний вплив на зростання відстані, яку пролетить тіло, так само має вплив на збільшення швидкості.

При дослідженні польоту тіла, кинутого з різної висоти та таких незмінних даних  $m = 1 \text{ кг}$ ,  $\alpha = 30^{\circ}$ ,  $F_{in} = 10 \text{ Н}$ , отримані результати наведені у табл. 4 та на рис. 13.

Табл. 3. Результати дослідження балістичного руху для різних кутів

Висота кидка, м	Час польоту, с	Початкова швидкість, м/с	Відстань, м
1	1,191	10	10,31
2	1,327	10	11,49
3	1,444	10	12,51

Сформоване твердження: чим з більшої висоти кидають тіло, тим далі воно пролетить (збільшення відстані пропорційне збільшенню висоти).

Очікувані результати етапу 4.

Здобувачі набувають:

- навичок з планування та проведення дослідів;
- навичок з оформлення результатів дослідів;
- знання з впливу різних вхідних даних на результати польоту тіла.

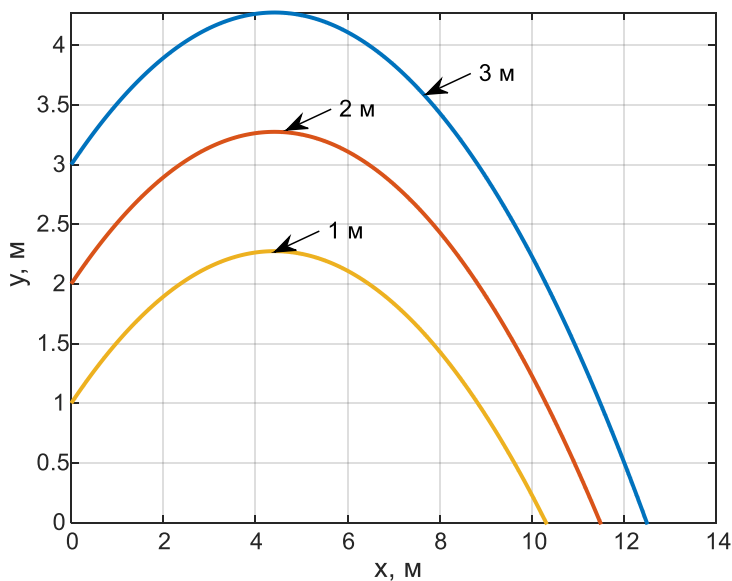


Рис. 13. Дослідження балістичного руху для різної сили кидка

#### Етап 5. Критичний аналіз.

Здобувачі самостійно формулюють залежності балістичного руху тіла при різних вхідних умов.

Разом з викладачем обговорюють обмеження наведеної математичної моделі та формулюють відповіді на такі питання:

- що не враховує досліджувана математична модель;
- для яких випадків досліджуваної моделі буде достатньо;
- як визначається сила опору повітря.

У розширеному варіанті викладач пропонує здобувачам самостійно знайти наукові статті та матеріали, в яких наведені варіанти моделювання балістичного руху з урахуванням сили опору повітря та іншого.

*Очікувані результати етапу 5:* здобувачі набувають навичок критичного мислення, пошуку довідникової літератури та опрацювання винайденої інформації; розуміння обмеженості математичних моделей та меж їх використання.

#### Етап 6. Узагальнення та рефлексія.

Практичний кейс призначений для опрацювання в межах лабораторної роботи освітнього компонента, присвяченого вивченню фізики або фізичних основ у процесах автоматизації. Узагальнення та рефлексія реалізовані через оформлення звіту з лабораторної роботи, яка супроводжується написанням розгорнутого висновку. Для підвищення рівня самостійної роботи студентів краще використовувати індивідуальні завдання.

#### Етап 7. Оцінювання результатів навчання.

На цьому етапі ми пропонуємо скористатись тестами для оцінювання рівня засвоєння матеріалів.

При цьому тестові питання розбиваються на такі категорії:

1. Основні поняття та принципи: повинні складати 20 % від загальної кількості питань.
2. Рівняння та функції, що описують балістичний рух: 30 %.
3. Практичні задачі з обчислення параметрів балістичного руху: 50 %.

Якщо питання з теоретичного блоку 1 та 2 категорій вибираються із відповідно підготовлених бази питань за випадковим алгоритмом, то питання з 3 категорії призначаються кожному здобувачу.

Всі практичні задачі можна розділити на 4 підкатегорії:

1. Базові.

Задача 1.1. Дальність польоту: тіло кинуто з поверхні Землі зі швидкістю  $v_0 = 30$  м/с під кутом  $\alpha = 45^\circ$  до горизонту. Опором повітря знехтувати. Знайти: час польоту тіла; максимальну висоту підйому; дальність польоту.

Задача 1. 2. Кидок з висоти: тіло кинуто зі швидкістю  $v_0 = 20$  м/с під кутом  $\alpha = 45^\circ$  з висоти  $h = 10$  м. Знайти: рівняння траєкторії  $y(x)$ ; час падіння на землю; горизонтальну дальність польоту.

Задача 1.3. Горизонтальний кидок: тіло штовхнули горизонтально з даху будівлі висотою  $h = 25$  м зі швидкістю  $v_0 = 15$  м/с. Знайти: час падіння; відстань від основи будівлі до місця падіння; модуль швидкості в момент удару об землю.

2. Аналіз складових швидкості.

Задача 2.1. Компоненти швидкості: тіло кинуто під кутом  $\alpha = 60^\circ$  зі швидкістю  $v_0 = 40$  м/с. Знайти: початкові проєкції швидкості  $v_{0x}$ ,  $v_{0y}$ ; вертикальну складову швидкості через  $t = 2$  с; модуль швидкості в цей момент.

Задача 2.2. Швидкість на заданій висоті: тіло кинуто зі швидкістю  $v_0 = 35$  м/с під кутом  $\alpha = 45^\circ$ . Знайти: модуль швидкості на висоті  $h = 15$  м; кут між вектором швидкості та горизонтом у цей момент.

3. Зворотні та прикладні задачі

Задача 3.1. Підбір кута: тіло кинуто зі швидкістю  $v_0 = 25$  м/с. Знайти: під яким кутом потрібно кинути тіло, щоб дальність польоту була максимальною; яка при цьому максимальна дальність.

Задача 3.2. Кидок у ціль: тіло кинуто з поверхні Землі зі швидкістю  $v_0 = 40$  м/с. Ціль знаходиться на відстані  $l = 60$  м і на висоті  $h = 10$  м. Знайти: можливі кути кидка, за яких тіло потрапить у ціль із заданими координатами.

Виходячи з такої умови, всі питання з практичними завданнями потрібно реалізовувати як розрахункові, з однаковим алгоритмом розв'язання та варіацією вхідних змінних. В цьому випадку підкріплюється практична орієнтація розробленого кейсу.

#### IV Обговорення

Отримані результати підтверджують доцільність використання практичних кейсів як ефективного інструменту навчання фізики, зокрема під час вивчення теми балістичного руху. Запропонований практичний кейс демонструє, що поєднання класичних теоретичних положень механіки з комп'ютерним моделюванням та дослідницькою діяльністю здобувачів освіти сприяє глибшому розумінню фізичної сутності явища, ніж традиційні підходи, орієнтовані переважно на розв'язування типових задач.

На відміну від стандартного викладу балістичного руху, який зазвичай обмежується використанням готових аналітичних формул для координат тіла, запропонований кейс ґрунтується на причинно-наслідковому описі процесу руху через другий закон Ньютона та аналіз сил, що діють на тіло. Такий підхід дозволяє здобувачам освіти усвідомити фізичний зміст рівнянь руху, а не лише механічно застосовувати формули. Важливою перевагою є те, що студенти послідовно простежують перехід від сил до прискорень, швидкостей і координат, що формує цілісне уявлення про структуру фізичної моделі. Особливу увагу в межах кейсу приділено комп'ютерному моделюванню з використанням середовища Matlab Simulink. Структурне подання математичної моделі у вигляді блок-схем значно полегшує сприйняття складних диференціальних рівнянь, особливо для здобувачів освіти з недостатньо сформованою математичною підготовкою.

Візуалізація процесу моделювання дозволяє зробити абстрактні математичні поняття більш наочними та зрозумілими, а також сприяє розвитку системного мислення. Результати виконання дослідницьких завдань свідчать про те, що варіювання вхідних параметрів (маси тіла, початкової сили, кута кидка, висоти старту) стимулює пізнавальну активність здобувачів освіти та сприяє формуванню навичок самостійного аналізу.

Побудова серій графіків і заповнення таблиць результатів дозволяє не лише кількісно оцінити вплив кожного параметра на характеристики руху, а й зробити якісні узагальнення щодо закономірностей балістичного руху. Зокрема, студенти приходять до усвідомлення того, що маса тіла в ідеалізованій моделі не впливає на дальність польоту за умови однакових початкових швидкостей, що часто викликає когнітивний конфлікт і потребує додаткового обговорення.

Важливим елементом запропонованого кейсу є етап критичного аналізу математичної моделі. Обговорення обмежень ідеалізованої моделі балістичного руху, зокрема нехтування силою опору повітря, дозволяє сформувати у здобувачів освіти розуміння умов застосовності теоретичних результатів. Це сприяє розвитку критичного мислення та наукового світогляду, оскільки студенти

усвідомлюють, що будь-яка математична модель є спрощеним відображенням реальності. Водночас запропонований підхід створює підґрунтя для подальшого ускладнення моделі, наприклад шляхом урахування аеродинамічного опору або обертання тіла.

Обговорюючи практичне значення розробленого кейсу, слід зазначити його високу адаптивність до різних форматів навчання. Умови дистанційного та змішаного навчання, а також обмежений доступ до фізичних лабораторій роблять комп'ютерне моделювання одним із небагатьох ефективних засобів організації практичної діяльності. Запропонований кейс може бути використаний як повноцінна лабораторна робота або як елемент самостійної роботи здобувачів освіти з подальшим обговоренням результатів у синхронному або асинхронному режимі.

Разом із тим, слід відзначити певні обмеження проведеного дослідження. По-перше, ефективність запропонованого кейсу значною мірою залежить від рівня цифрової компетентності здобувачів освіти та наявності доступу до відповідного програмного забезпечення. По-друге, впровадження структурного моделювання потребує додаткового часу на ознайомлення студентів з інтерфейсом Matlab Simulink, що може ускладнювати використання кейсу в умовах обмеженого навчального часу. Проте ці обмеження можуть бути частково усунені шляхом використання підготовлених шаблонів моделей та поетапного ускладнення завдань.

У цілому результати дослідження свідчать про те, що практичні кейси, побудовані на основі комп'ютерного моделювання, є перспективним напрямом модернізації методики викладання фізики. Запропонований кейс з вивчення балістичного руху не лише забезпечує засвоєння теоретичного матеріалу, а й сприяє формуванню ключових компетентностей, необхідних для підготовки сучасних фахівців технічного профілю. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення кейсу за рахунок урахування додаткових фізичних чинників та емпіричну оцінку його впливу на результати навчання.

Подальший розвиток представленого практичного кейсу з вивчення балістичного руху доцільно здійснювати шляхом урахування сили опору повітря та геометричних розмірів тіла, що дозволить наблизити модель до реальних фізичних умов і розширити дослідницькі можливості здобувачів освіти. Включення аеродинамічного опору дає змогу продемонструвати відмінності між ідеалізованою та реальною траєкторією руху, а також сформувати у студентів розуміння меж застосовності класичних аналітичних розв'язків.

Для розширення кейсу пропонується врахувати силу опору повітря у вигляді нелінійної залежності від швидкості руху тіла, зокрема квадратичної моделі, яка є найбільш поширеною для тіл, що рухаються в повітрі з помірними та великими швидкостями. У такому разі до системи рівнянь руху додається сила аеродинамічного опору, напрямлена протилежно вектору швидкості, величина якої залежить від густини повітря, коефіцієнта опору, площі поперечного перерізу тіла та квадрата модуля швидкості. Це ускладнює математичний опис руху та робить неможливим отримання простих аналітичних формул, що обґрунтовує необхідність використання чисельних методів і комп'ютерного моделювання.

Урахування геометричних розмірів тіла реалізується через введення параметрів, що описують форму об'єкта (куля, циліндр, куб) та відповідну ефективну площу поперечного перерізу. Це дозволяє досліджувати вплив форми та розмірів тіла на характер траєкторії, час польоту та дальність кидка, а також порівнювати результати для тіл однакової маси, але різної геометрії. У межах практичного кейсу здобувачі освіти можуть виконувати серії експериментів, змінюючи коефіцієнт аеродинамічного опору та геометричні параметри, аналізувати отримані графіки та робити узагальнені висновки.

Таким чином, розширення практичного кейсу за рахунок урахування опору повітря та геометричних розмірів тіла сприяє поглибленню фізичного змісту навчального матеріалу, розвитку навичок комп'ютерного моделювання та формуванню дослідницького підходу до вивчення механічних явищ.

## **V Висновки**

У результаті проведеного дослідження обґрунтовано доцільність використання практичних кейсів як ефективного засобу вивчення теми балістичного руху в курсі фізики закладів вищої освіти. Показано, що поєднання теоретичних положень класичної механіки з комп'ютерним моделюванням сприяє глибшому розумінню фізичної сутності процесів і формуванню цілісного уявлення про закономірності руху тіл.

Розроблено та описано структуру практичного кейсу з вивчення балістичного руху, який реалізується на основі дослідницько-моделювального підходу та включає послідовні етапи проблемної постановки, теоретичного аналізу, математичного й комп'ютерного моделювання, виконання дослідницьких завдань, критичного аналізу результатів і рефлексії. Така структура забезпечує активне залучення здобувачів освіти до навчального процесу та розвиток навичок самостійної пізнавальної діяльності.

Оригінальність дослідження полягає у поєднанні класичного причинно-наслідкового опису балістичного руху через другий закон Ньютона зі структурним моделюванням і його комп'ютерною реалізацією в середовищі Matlab Simulink у межах одного навчального кейсу. Запропонований підхід дозволяє інтегрувати фізику, математику та інформаційні технології в єдиний освітній продукт і відрізняється від традиційних методик, орієнтованих переважно на аналітичні формули та стандартні розрахункові задачі.

У ході апробації кейсу встановлено, що варіювання вхідних параметрів моделі (початкової сили, кута кидка, маси тіла та висоти старту) сприяє формуванню у здобувачів освіти дослідницьких умінь, розвитку критичного мислення та усвідомленню обмежень ідеалізованих математичних моделей. Це створює передумови для глибшого засвоєння матеріалу та підвищення мотивації до вивчення фізики.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання розробленого практичного кейсу як повноцінної лабораторної або практичної роботи в умовах очного, дистанційного та змішаного навчання, зокрема за обмеженого доступу до фізичних лабораторій. Кейс може бути інтегрований у навчальні дисципліни з фізики та фізичних основ автоматизації, а також адаптований до різних рівнів підготовки здобувачів освіти.

Запропонований підхід відповідає вимогам компетентнісного підходу до освіти, оскільки сприяє формуванню предметних, цифрових та міждисциплінарних компетентностей, необхідних для підготовки сучасних фахівців технічного профілю. Отримані результати можуть бути використані викладачами для модернізації методики викладання механіки та подальшого розширення навчальних кейсів із застосуванням комп'ютерного моделювання.

### **Бібліографічні посилання**

1. Galynska O., Bilous S. Remote learning during the war: challenges for higher education in Ukraine. *International Science Journal of Education & Linguistics*. 2022. Vol. 1. No. 5. PP. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjel.20220105.01>
2. Opanasenko Y., Novikova V. Distance Learning in Higher Education: The Experience of the Covid-19 Pandemic and War in Ukraine. *Educational Challenges*. 2022. Vol. 27. No. 2. PP. 151-168. DOI: <https://doi.org/10.34142/2709-7986.2022.27.2.11>
3. Левчук, О., Левчук, К., Гусак, Л., Гаврилюк, Н. Технологія змішаного навчання в закладах вищої освіти в умовах війни. *European Humanities Studies: State and Society*. No. 2. PP. 62-89. DOI: <https://doi.org/10.38014/ehs-ss.2022.2.03>
4. Kononova N., Berbyuk Lindström N., Panchuk A. Teaching and Learning amid War Crisis: Perceptions of Ukrainian Academic Staff and Students on Online Education. *IBIMA Business Review*. 2024. Vol. 2024. Article ID 465847. DOI: <https://doi.org/10.5171/2024.465847>
5. Процак Т. В., Проняєв Д. В., Забродська О. С. Актуальність дистанційного навчання в умовах воєнного часу. *Morphologia*. 2023. Т. 17. № 3. С. 168-173. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2023.3.168-173>
6. Gomez M. J. The Impact of Inquiry-Based Learning in Science Education: A Systematic Review of Student Engagement and Achievement. *Journal of Education, Learning, and Management*. 2025. Vol. 2. No. 2. PP. 353-363. DOI: <https://doi.org/10.69739/jelm.v2i2.1143>
7. Oliveira H., Bonito J Practical work in science education: a systematic literature review. *Front. Educ*. 2023. Vol. 8. 1151641. DOI: [10.3389/educ.2023.1151641](https://doi.org/10.3389/educ.2023.1151641)
8. Lager A., Lavonen J. Engaging Students in Scientific Practices in a Remote Setting. *Education Sciences*. 2023. Vol. 13. Iss. 5., 431. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci13050431>
9. Bao L., Koenig K. Physics education research for 21st century learning. *Discip Interdiscip Sci Educ Res*. 2019. Vol. 1. Art. No. 2. PP. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0007-8>
10. Volkwyn T. S., Airey J., Gregorcic B., Heijkenskjöld F. Transduction and science learning: Multimodality in the physics laboratory. *Designs for Learning*. 2019. Vol. 11. Iss. 1. PP. 16–29. DOI: <https://doi.org/10.16993/dfl.118>
11. Wadsworth F. B., Vasseur J., Foster A., Smith A. P. W., Byatt N. A., Allgood C., Loisel A., Bintang F., Squirrell D., Paine A., Bretagne E., Brown J., Winstanley R., Lavallée Y., Brown R. J., Kueppers U. Projectile motion: experimental datasets and classroom exercises. *Physics Education*. 2025. Vol. 60. Iss. 4. Art. No. 045024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/add2c5>
12. Wee L. K., Chew Ch., Goh G. H., Tan S., Lee T. L. Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion. *Physics Education*. 2012. Vol. 47. Iss. 4. PP. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1088/0031-9120/47/4/448>

13. Maxa J., Šabacká P., Bayer R., Binar T., Bača P., Švecová J., Talár J., Vlkovský M., Dobšáková L. The Tuning of a CFD Model for External Ballistics, Followed by Analyses of the Principal Influences on the Drag Coefficient of the .223 Rem Caliber. *Technologies*. 2025. Vol. 13. Iss. 5. C. 1-31. DOI: <https://doi.org/10.3390/technologies13050190>
14. Said A. A., Mbewe H. P., Mzimba M. M., Namanolo H. S., Rashid Sh. M., Ussi S. I. Mass Dependent Computational Analysis of Projectile Motion under Quadratic Air Drag Using the Runge-Kutta Method. *Open Journal of Applied Sciences*. 2025. Vol. 15. Iss. 12. PP. 4023-4042. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojapps.2025.1512260>
15. Шкатуляк Н. М., Усов В. В., Павловський В. В. Кейс-стаді як елемент адаптивного навчання. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. № 216. С. 335-342. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-335-242>
16. Yang W., Zhang X., Chen X. et al. Based case based learning and flipped classroom as a means to improve international students' active learning and critical thinking ability. *BMC Med Educ*. 2024. 24:759. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05758-8>
17. Chen Ch. Yu. Flipped classroom with case-based learning for improving preservice teachers' classroom management learning outcomes. *Teaching and Teacher Education*. 2024. Vol. 152. 104785. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104785>
18. Donkin R., Yule H., Fyfe T. Online case-based learning in medical education: a scoping review. *BMC Med Educ*. 2023. 23:564. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04520-w>
19. Гуревич Р. С., Євтухівський М. В. Особливості формування цифрової компетентності здобувачів освіти в технічних університетах. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. 2025. № 77. С. 17-28. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2025-77-17-29>
20. Muzulon N. Z., Resende L. M., Leal G. C. L., Pontes J. Beyond Technical Skills: Competency Framework for Engineers in the Digital Transformation Era. *Societies*. 2025. Vol. 15. Iss. 8. 217. DOI: <https://doi.org/10.3390/soc15080217>

### References

1. Galynska, O., & Bilous, S. (2022). Remote learning during the war: challenges for higher education in Ukraine. *International Science Journal of Education & Linguistics*, 1(5), 1–6. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjel.20220105.01>
2. Opanasenko, Y., & Novikova, V. (2022). Distance Learning in Higher Education: The Experience of the Covid-19 Pandemic and War in Ukraine. *Educational Challenges*, 27(2), 151-168. DOI: <https://doi.org/10.34142/2709-7986.2022.27.2.11>
3. Levchuk, O., Levchuk, K., Husak, L., & Havryliuk, N. (2022). Technology of blended learning in institutions of higher education in war conditions. *European Humanities Studies: State and Society*, 2, 62-89. DOI: <https://doi.org/10.38014/ehs-ss.2022.2.03>
4. Kononova, N., Berbyuk Lindström, N., & Panchuk, A. (2024). Teaching and Learning amid War Crisis: Perceptions of Ukrainian Academic Staff and Students on Online Education. *IBIMA Business Review*, 2024, 465847. DOI: <https://doi.org/10.5171/2024.465847>
5. Protsak, T. V., Proniaev, D. V., & Zabrodska, O. S. (2023). Relevance of distance learning in wartime conditions. *Morphologia*, 17(3), 168-73. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2023.3.168-173>
6. Gomez, M. J. (2025). The Impact of Inquiry-Based Learning in Science Education: A Systematic Review of Student Engagement and Achievement. *Journal of Education, Learning, and Management*, 2(2), 353-363. DOI: <https://doi.org/10.69739/jelm.v2i2.1143>
7. Oliveira, H., & Bonito, J. (2023). Practical work in science education: a systematic literature review. *Front. Educ.* 8:1151641. DOI: [10.3389/educ.2023.1151641](https://doi.org/10.3389/educ.2023.1151641)
8. Lager, A., & Lavonen, J. (2023). Engaging Students in Scientific Practices in a Remote Setting. *Education Sciences*, 13(5), 431. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci13050431>
9. Bao, L., & Koenig, K. (2019). Physics education research for 21st century learning. *Discip Interdiscip Sci Educ Res*, 1, 2, 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0007-8>
10. Volkwyn, T. S., Airey, J., Gregorcic, B., & Heijkenskjöld, F. (2019). Transduction and science learning: Multimodality in the physics laboratory. *Designs for Learning*, 11(1), 16–29. DOI: <https://doi.org/10.16993/df.118>
11. Wadsworth, F. B., Vasseur, J., Foster, A., Smith, A. P. W., Byatt, N. A., Allgood, C., Loisel, A., Bintang, F., Squirrell, D., Paine, A., Bretagne, E., Brown, J., Winstanley, R., Lavallée, Y., Brown, R. J., & Kueppers, U. (2025). Projectile motion: experimental datasets and classroom exercises. *Physics Education*, 60(4), 045024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6552/add2c5>
12. Wee, L. K., Chew, Ch., Goh, G. H., Tan, S., & Lee, T. L. (2012). Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion. *Physics Education*, 47(4), 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1088/0031-9120/47/4/448>
13. Maxa, J., Šabacká, P., Bayer, R., Binar, T., Bača, P., Švecová, J., Talár, J., Vlkovský, M., & Dobšáková, L. (2025). The Tuning of a CFD Model for External Ballistics, Followed by Analyses of the Principal Influences on the Drag Coefficient of the .223 Rem Caliber. *Technologies*, 13(5), 1-31. DOI: <https://doi.org/10.3390/technologies13050190>
14. Said, A. A., Mbewe, H. P., Mzimba, M. M., Namanolo, H. S., Rashid, Sh. M., & Ussi, S. I. (2025). Mass Dependent Computational Analysis of Projectile Motion under Quadratic Air Drag Using the Runge-Kutta Method. *Open Journal of Applied Sciences*, 15(12), 4023-4042. DOI: <https://doi.org/10.4236/ojapps.2025.1512260>
15. Shkatulyak, N. M., Usov, V. V., & Pavlovsky, V. V. (2024). Case-Study as an Element of Adaptive Learning. *Academic Notes. Series: Pedagogical Sciences*, 216, 335-342. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-335-242>
16. Yang, W., Zhang, X., Chen, X. et al. (2024). Based case based learning and flipped classroom as a means to improve international students' active learning and critical thinking ability. *BMC Med Educ* 24, 759. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05758-8>
17. Chen, Ch. Yu. (2024). Flipped classroom with case-based learning for improving preservice teachers' classroom management learning outcomes. *Teaching and Teacher Education*, 152, 104785. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tate.2024.104785>
18. Donkin, R., Yule, H. & Fyfe, T. (2023). Online case-based learning in medical education: a scoping review. *BMC Med Educ* 23, 564. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04520-w>

19. Gurevych, R. S., & Yevtukhivskiy, M. V. (2025). Peculiarities of Forming Digital Competence of Students in Technical Universities. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 77, 17-28. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2025-77-17-29>
20. Muzulon, N. Z., Resende, L. M., Leal, G. C. L., & Pontes, J. (2025). Beyond Technical Skills: Competency Framework for Engineers in the Digital Transformation Era. *Societies*, 15(8), 217. DOI: <https://doi.org/10.3390/soc15080217>



**Істоміна Наталія Миколаївна.**

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та інформаційних систем, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Університетська, 20, м. Кременчук Полтавської обл., Україна, 39600.  
E-mail: [nmistomina@gmail.com](mailto:nmistomina@gmail.com)

**Istomina Nataliia Mykolaivna.**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Automation and Information Systems Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vul. Universytetska, 20, Kremenchuk, Poltava Region, Ukraine, 39600.  
E-mail: [nmistomina@gmail.com](mailto:nmistomina@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6811-8115>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/H-7885-2014>

Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57210290054>



**Конох Ігор Сергійович.**

Доктор технічних наук, професор, доцент кафедри автоматизації та інформаційних систем, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Університетська, 20, м. Кременчук Полтавської обл., Україна, 39600.  
E-mail: [konokh.is.univer@gmail.com](mailto:konokh.is.univer@gmail.com)

**Konokh Igor Serhiyovych.**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Associate Professor of Automation and Information Systems Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, vul. Universytetska, 20, Kremenchuk, Poltava Region, Ukraine, 39600.  
E-mail: [konokh.is.univer@gmail.com](mailto:konokh.is.univer@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5930-1957>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/H-9708-2018>

Scopus ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57194700932>

**Citation (APA):**

Istomina, N., Konokh, I. (2025). Development of a practical case for studying ballistic motion. *Engineering and Educational Technologies*, 13 (4), 44–62. doi: <https://doi.org/10.32782/2307-9770.2025.13.04.05>

**Цитування (ДСТУ 8302:2015):**

Істоміна Н. М., Конох І. С. Розробка практичного кейсу з вивчення балістичного руху / Інженерні та освітні технології. 2025. Т. 13. № 4. С. 44–62. doi: <https://doi.org/10.32782/2307-9770.2025.13.04.05>

**Обсяг статті:** сторінок – 19 ; умовних друк. аркушів – 2,752.