

УДК 531/534:37.02

- Ольшанецький В. Ю. д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри фізичного матеріалознавства Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, *e-mail: olshan@zp.edu.ua*, ORCID: 0000-0002-9485-4896
- Гуляєва Л. В. канд. пед. наук, доцент, доцент кафедри фізики Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, *e-mail: gulyaeva.ludmila.vlad@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-9766-4860
- Татарчук Т. В. канд. техн. наук, доцент кафедри фізики НУ «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна, *e-mail: tanko.hol@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-6408-0463
- Шепель Д. Д. студент Національного університету «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна, *e-mail: danilyk.danilykowsky@gmail.com*

ФОРМУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО МИСЛЕННЯ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ З ФІЗИКИ: ПРАКТИЧНИЙ АСПЕКТ

Вступ

Актуальним дидактичним аспектом в системі підготовки інженерно-технічних фахівців є формування технічного мислення майбутніх інженерів. Відомо, що технічне мислення – мислення, завдяки якому фахівець будь-якої інженерно-технічної галузі знань здатен окреслювати, формулювати, аналізувати проблему з різних точок зору; бачити її зв'язки з іншими системами, підсистемами; знаходити шляхи її розв'язання.

Аналіз досліджень та публікацій

Аналіз стану досліджень, публікацій, напрацювань науковців щодо формування технічного мислення майбутніх інженерів освітнього процесу з фізики для технічних галузей знань подана в дослідженнях і українських, і зарубіжних учених. Існують певні тенденції щодо характеристики технічного мислення, а саме: з точки зору психологічних особливостей людини розв'язувати технічні завдання; функціональних залежностей знанієвого компоненту; теоретико-практичного його характеру; тісного взаємозв'язку з іншими видами мислення, зокрема, образним мисленням тощо.

Питанням організації освітньої діяльності щодо формування технічного мислення в умовах вивчення загальної фізики у технічних ЗВО знайшло своє відображення в працях Н. Б. Бурдейної Д. В. Єлаховського, О. І. Назарова, І. Р. Зачека, Г. А. Ільчука (підготовка студентів будівельних спеціальностей); І. Є. Лопатинського, І. Р. Зачека, С. О. Юр'єва, О. В. Рибак, С. П. Дубельт (фізика для студентів зі спеціальності комп'ютерні технології та геодезії); О. М. Внукової (професійна освіта швейного профілю); Т. П. Гордієнко (організація самостійної діяльності студентів); Л. Ю. Збаравської (навчання студентів аграрно-технічного напрямку); Є. П. Соколова (навчання студентів технічного напрямку); А. М. Андрєєва, І. Т. Богданова, С. У. Гончаренка, В. Ф. Заболотного, О. І. Іваницького, А. І. Павленко О. В. Сергєєва (підготовка викладачів фізики), В. Ю. Ольшанецький, Г. Л. Гуляєва, Т. В. Татарчук (інтеграція фундаментальної та фахової підготовки при навчанні майбутніх інженерів) [2–5, 7, 8] тощо.

Необхідно зазначити, що формування технічного мислення в умовах інтеграції фундаментальної та фахової в технічних ЗВО для галузі знань 13 «Механічна інженерія» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти мало досліджене питання. В Стандарті вищої освіти України [9] визначено, що одним із програмних результатів освітньої діяльності майбутніх фахівців для даної галузі знань є вміння обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки. Реалізацію вище визначеного програмного результату освітньої діяльності майбутніх інженерів доречно розглядати через призму формування їхнього технічного мислення в аспекті інтеграції фізичних та фахових знань під час виконання, зокрема, практичної частини програми з дисципліни «фізика», наприклад, під час дослідження абсолютно непружного удару тіл однакової маси.

Мета роботи

Розглянути питання щодо формування технічного мислення в аспекті інтеграції фізичних та фахових знань під час виконання практичної частини програми з дисципліни «фізика» для галузі знань 13 «Механічна інженерія» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти на прикладі змістовних модулів «Енергія» та «Обладнання для дослідження металів на ударну в'язкість під час динамічних випробувань», зокрема, на під час дослідження абсолютно непружного удару тіл.

Виклад основного матеріалу та аналіз отриманих результатів

Питання неружного удару майбутні інженери розглядають не тільки під час виконання лабораторного практикуму з дисципліни «фізика», а також і в процесі усвідомлення питання щодо динамічних випробувань металів на ударну в'язкість під час безпосередньо їхньої фахової підготовки. Копр маятникового типу призначений для випробування металів на ударну в'язкість під час динамічних випробувань. Принцип дії вище зазначеного обладнання засновано на використанні закону збереження енергії, закону збереження імпульсу, властивостях непружного удару, теплопередачі, властивостей твердих тіл.

Метою лабораторного практикуму з теми «Дослідження абсолютно непружного удару тіл» вважаємо наступне: усвідомити майбутніми інженерами закономірності абсолютно непружного удару тіл; навчитись визначати частину початкової енергії, яка витрачається під час абсолютно непружного удару тіл; навчитись опрацювати результати експерименту графічним та аналітичним методами.

Розглянемо спочатку підготовчі вправи домашньої самостійної роботи щодо усвідомлення майбутніми фахівцями питань, які пов'язані з визначенням частини початкової енергії, яка перешла в тепло, витрачена на деформацію, руйнування тощо під час непружного удару тіл.

Завдання 1. Під час виконання самостійної роботи майбутні інженери з'ясовують деякі питання репродуктивного та продуктивного рівнів, саме:

1. Який удар називають абсолютно непружним ударом?
2. Який удар називають абсолютно пружним ударом?
3. Які величини є інваріантами під час зіткнення тіл?
4. Які закони використовують для дослідження абсолютно непружного удару та абсолютно пружного удару тіл?
5. На що може витрачатись частина енергії тіл під час абсолютно непружного удару тіл?
6. За якою формулою розраховують частину початкової енергії, яка перешла у внутрішню енергію?

Завдання 2. А тепер для майбутніх інженерів пронуються для розв'язання декілька задач щодо визначення частини початкової енергії, яка перешла в тепло, витрачена на деформацію, руйнування тощо під час непружного удару тіл. Необхідно зауважити, що починаємо розв'язання з першої побутової та зрозумілої для всіх задачі.

Задача 1. Яка частина грошей від початкової їхньої кількості була витрачена, якщо із 100 гривень залишилось 85 гривень?

$$\gamma = \frac{|\Delta N|}{N_{\text{почат.}}} = \frac{N_{\text{почат.}} - N_{\text{кінцева}}}{N_{\text{почат.}}} = \frac{15}{100} = 0,15 = 15\%.$$

Задача 2. На рисунку 1 вказані швидкості двох кульок до та після зіткнення. Визначити частину початкової енергії, яка перешла в тепло під час абсолютно непружного зіткнення куль.



Рисунок 1. Непружний удар куль

За законом збереження імпульсу визначимо співвідношення мас двох кульок

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2.$$

Співвідношення мас дорівнює

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1 - u_1}{u_2 - v_2} = \frac{4 - 2}{2 - 1} = 2, \Rightarrow m_2 = 2m_1.$$

2. Визначимо кінетичну енергію куль до удару.

$$E_{\text{почат.}} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{2m_1 v_2^2}{2} =$$

$$= \frac{m_1}{2} (v_1^2 + 2v_2^2) = \frac{m_1}{2} (4^2 + 2 \cdot 1^2) = 9m_1 \text{ (Дж)}.$$

3. Визначимо кінетичну енергію куль після удару

$$E_{\text{кінцева}} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{2m_1 u_2^2}{2} =$$

$$= \frac{m_1}{2} (u_1^2 + 2u_2^2) = \frac{m_1}{2} (2^2 + 2 \cdot 2^2) = 6m_1 \text{ (Дж)}.$$

4. Визначимо зміну кінетичної енергії куль під час їх непружного удару.

$$|\Delta E| = 3m_1 \text{ (Дж)}.$$

5. Розрахуємо кількість тепла, яка виділилась під час непружного зіткнення куль. Враховуємо, що зміна кінетичної енергії куль під час їх недружного удару дорівнює кількості тепла, яка виділилась під час непружного удару. $Q = \Delta E = 3m_1$ (Дж).

6. Визначимо частину початкової енергії, яка перешла в тепло під час непружного зіткнення куль

$$\gamma = \frac{|\Delta E|}{E_{\text{початкова}}} = \frac{Q}{E_{\text{початкова}}} = \frac{3m_1 \text{ (Дж)}}{9m_1 \text{ (Дж)}} = 33,3\%.$$

Задача 3. Під час порушення правил дорожнього руху при перевезенні готової продукції ливарного виробництва у ливарному цеху відбулось непружне зіткнення нерухомої вагонетки загальною масою $m_{\text{перша вагонетка}} = m_1 = 100$ кг та другої вагонетки, яка рухалась зі швидкістю 18 км/год з продукцією загальною масою $m_{\text{друга вагонетка}} = m_2 = 900$ кг. Яка частина кінетичної енергії другої вагонетки витрачається на деформацію першої під час їхнього непружного удару?

Розв'язання. 1. За законом збереження імпульсу визначимо співвідношення швидкостей вагонеток під час непружного удару.

$$u = u_1 = u_2 = \frac{m_2 v_2}{m_1 + m_2}.$$

Частина кінетичної енергії другої вагонетки, яка витрачається на деформацію першої вагонетки під час її непружного удару з вагонеткою, яка заповнена продукцією дорівнює

$$\gamma = \frac{|\Delta E|}{E_{\text{поч2}}} = \frac{E_{\text{поч2}} - E_{\text{кінц2}}}{E_{\text{поч2}}} = 1 - \frac{E_{\text{кінц2}}}{E_{\text{поч2}}} =$$

$$= 1 - \frac{(m_1 + m_2)u^2}{m_2 v_2^2},$$

$$\gamma = 1 - \frac{(m_1 + m_2)}{m_2 v_2^2} \cdot \left(\frac{m_2 v_2}{m_1 + m_2} \right)^2 = 1 - \frac{m_2}{m_1 + m_2} =$$

$$= 1 - \frac{900}{900 + 100} = 0,1 = 10\%.$$

Задача 4. На рисунку 2 показано копр маятникового типу. Яка частина енергії витрачена на деформацію та руйнування зразка під час його динамічного випробування, якщо кути відхилення копру маятникового типу до та після випробуванням зразків на вигин $\alpha = 80^\circ$, $\beta = 33^\circ$ відповідно.

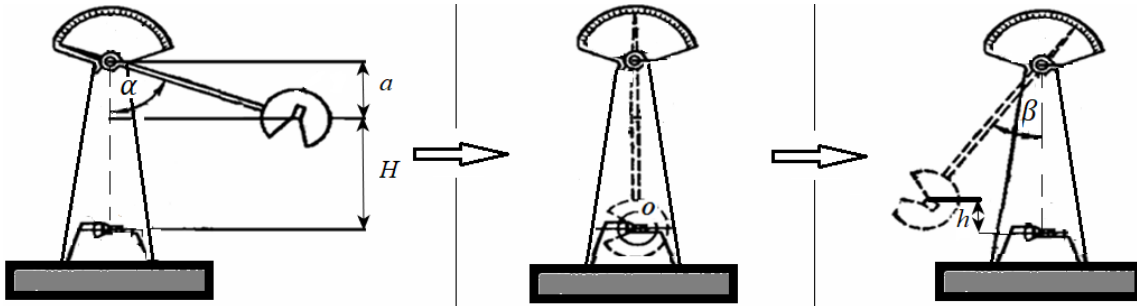


Рисунок 2. Визначення діапазону кутів відхилення копру маятникового типу під час випробуванням зразків на вигин

Врахуємо, що $H = \ell(1 - \cos \alpha)$, $h = \ell(1 - \cos \beta)$, і тоді розрахуємо частину енергії, що витрачена на деформацію та руйнування зразка під час його динамічного випробування

$$\frac{A_p}{E_{\text{повна}}} = \frac{mg(H - h)}{mgH} = 1 - \frac{h}{H} = 1 - \frac{\ell(1 - \cos \beta)}{\ell(1 - \cos \alpha)} =$$

$$= 1 - \left(\frac{\sin \beta / 2}{\sin \alpha / 2} \right)^2 = 1 - \left(\frac{\sin 33^\circ / 2}{\sin 80^\circ / 2} \right)^2 = 80\% .$$

Під час аудиторної роботи майбутні інженери для отримання робочої формули щодо визначення частини енергії, що витрачена на деформацію та скріплення тіл під час їхнього абсолютно непружного удару розглядають лабораторну установку (див. рис.3) та з'ясовують частину енергії, яка переходить у внутрішню енергію під час абсолютно непружного удару тіл.

На рисунку 3а зображено відхилення лівого стрижня з тягарцем масою m на кут α від положення рівноваги на висоту H . На підставі ЗЗМЕ записують формулу для визначення швидкості лівого тягарця в момент його абсолютно непружного удару з правим тягарцем

$$E_{\text{п.поч.лів}} + E_{\text{к.поч.лів}} = E_{\text{п.кінц.лів}} + E_{\text{к.кінц.лів}}$$

$$\Rightarrow v_{\text{лів.}} = \sqrt{2gH} .$$

Потім розглядають (див.рис.3б) момент абсолютно непружного удару лівого тягарця з правим тягарцем та визначають на підставі ЗЗІ швидкість двох тягарців після абсолютно непружного удару

$$m\vec{v}_{\text{лів.}} + m\vec{v}_{\text{прав.}} = 2m\vec{U} \Rightarrow U = \frac{v_{\text{лів.}}}{2} = \frac{\sqrt{2gH}}{2} .$$

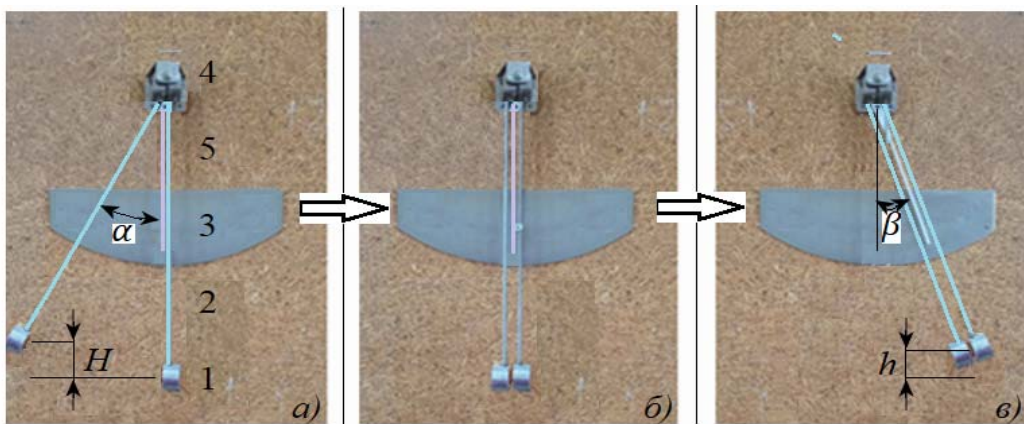


Рисунок 3. Лабораторна установка: 1 – два тіла масами m ; 2 – два легких стрижня довжиною ℓ кожний, до яких прикріплені тіла масами m ; 3 – кутова шкала для вимірювання кутів відхилення стрижнів від положення рівноваги; 4 – підвіс тягарців; 5 – стрижень для відліку кутів

Для моменту положення тягарців після абсолютно непружного удару застосуємо знову ЗЗМЕ та запишемо формулу для визначення висоти підйому тягарців після абсолютно непружного удару (див.рис.3в)

$$E_{п.поч.заг.} + E_{к.поч.заг.} = E_{п.кінц.заг.} + E_{к.кінц.заг.}$$

$$\Rightarrow 0 + \frac{2mU^2}{2} = 2mgh + 0 \quad \Rightarrow H = 4h.$$

Отже, частина енергії, яка витрачається під час абсолютно непружного удару тіл дорівнює

$$\gamma = \frac{|\Delta E|}{E_{початкова}} = \frac{E_{початкова} - E_{кінцева}}{E_{початкова}} =$$

$$= 1 - \frac{E_{кінцева}}{E_{початкова}} = 1 - \frac{2mgh}{mgH} = 1 - \frac{2h}{H} = 0,5 = 50\%.$$

Далі майбутні інженери встановлюють, яким чином можна експериментально переконатися в тому, що під час абсолютно непружного удару тіл витрачається 50% енергії. В цьому їм допомагає розв'язання четвертої домашньої задачі. Частина енергії, яка витрачається під час абсолютно непружного удару тіл дорівнює:

$$\gamma = \frac{|\Delta E|}{E_{початкова}} = \frac{E_{початкова} - E_{кінцева}}{E_{початкова}} =$$

$$= \frac{mg(H - 2h)}{mgh} = 1 - 2\frac{h}{H} = 1 - 2\left(\frac{\sin\beta/2}{\sin\alpha/2}\right)^2.$$

Отже, для відповіді на дане питання необхідно виміряти кути відхилення до та після абсолютно непружного удару тіл.

З метою теоретичного обґрунтування лінійної залежності щодо визначення частини енергії, що втрачається під час абсолютно непружного удару останнє рівняння необхідно звести до лінійної залежності типу $y = b + kx$ та записати формули для визначення значень допоміжних величин x та y до таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення допоміжних величин щодо визначення частини енергії, що втрачається під час абсолютно непружного удару тіл

$y = 2 \sin^2 \frac{\beta}{2}$	$x = \sin^2 \frac{\alpha}{2}$	$k = 1 - \gamma$	$b = 0$
--------------------------------	-------------------------------	------------------	---------

Для перевірки достовірності проведеного експерименту необхідно здійснити порівняння експериментального ($\beta_{експер.}$) та теоретичного значень кутів відхилення ($\beta_{теорет.}$) стрижнів з тягарцями після абсолютно непружного удару двох тіл. Теоретичне значення кута відхилення стрижнів з тягарцями після абсолютно непружного удару двох тіл необхідно розрахувати згідно наступних міркувань, а саме:

$$\beta_{теор.} = \arccos \frac{3 + \cos \alpha}{4}.$$

Для обчислення енергії, яка втрачається під час абсолютно непружного удару тіл графічним методом будемо графік залежності $y(x)$ в програмі Microsoft Office Excel. За графіком визначаємо кутовий коефіцієнт (k) нахилу експериментальної прямої $y = kx$ (див. 4а).

Для обчислення похибки у визначенні енергії, яка втрачається під час абсолютно непружного удару тіл скористаємось методом качання експериментальної прямої (див. рис. 4б).

Опрацювання результату експерименту (див. табл. 2) графічним та аналітичним методами майбутні інженери проводять за відомими формулами [1, 10].

Отже, в лабораторній роботі було проведено експериментальне дослідження щодо визначення енергії, яка переходить у внутрішню енергію під час абсолютно непружного зіткнення двох тіл однакової маси.

Кількість проведених дослідів дорівнює десяти.

Аналітичний метод опрацювання експериментальних даних дає наступний результат

$$\gamma = \bar{\gamma} \pm \Delta\gamma = 0,513 \pm 0,005.$$

Опрацювання результатів вимірювання геометричним методом дало наступну відповідь

$$\gamma = \bar{\gamma} \pm \Delta\gamma = 0,517 \pm 0,005.$$

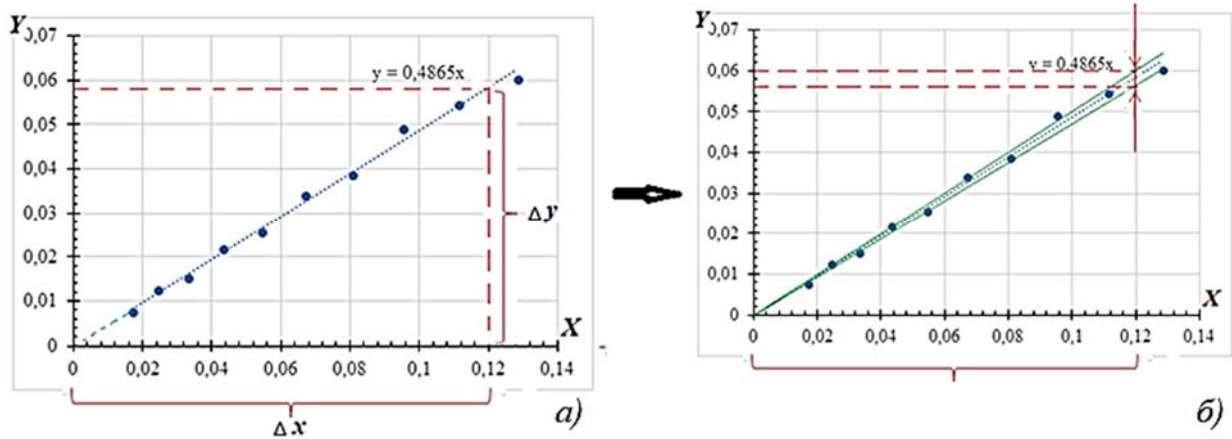


Рисунок 4. До графічного методу опрацювання результату експерименту щодо визначення енергії, яка витрачається під час абсолютно непружного удару тіл

Відносна похибка проведених вимірювань для обох випадків дорівнює для 1 %.

Таблиця 2 – Методи опрацювання експериментальних даних щодо визначення частини енергії, яка витрачається під час абсолютно непружного удару тіл

<i>Аналитичний метод обробки експериментальних даних</i>			
Розрахунок частини енергії, яка витрачається під час абсолютно непружного удару тіл			
$\bar{\gamma}$	γ	$\epsilon_{\gamma}, \%$	$\gamma = \bar{\gamma} \pm \Delta\gamma$
0,513	0,005	1	$0,513 \pm 0,005$
<i>Рівняння експериментальної прямої $y = kx + b$, $y = (1 - 0,526)x = 0,474x$</i>			
<i>Графічний метод обробки експериментальних даних</i>			
Розрахунок частини енергії, яка витрачається під час абсолютно непружного удару тіл			
$\bar{\gamma}$	γ	$\epsilon_{\gamma}, \%$	$\gamma = \bar{\gamma} \pm \Delta\gamma$
0,517	0,005	1	$0,517 \pm 0,005$
<i>Рівняння експериментальної прямої $y = kx$ $y = (1 - 0,517)x = 0,483x$</i>			

Висновки

1. В статті були розглянуті методичні засади щодо формування технічного мислення майбутніх інженерів в аспекті інтеграції фізичних та фахових знань під час виконання практичної частини програми з дисципліни «фізика» для галузі знань 13 «Механічна інженерія» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти на прикладі змістовних модулів «Енергія» та «Обладнання для дослідження металів на ударну в'язкість під час динамічних випробувань»

2. Розроблено та впроваджено в освітній процес з дисципліни «фізика» методику застосування деяких підготовчих вправ домашньої самостійної роботи щодо усвідомлення майбутніми фахівцями питань, які пов'язані з визначенням частини початкової енергії, яка перешла в тепло, витрачена на деформацію, руйнування тощо під час непружного удару тіл;

3. Показано застосування іновативних підходів опрацювання результатів лабораторного дослідження щодо абсолютно непружного удару тіл.

4. Проведене дослідження не вичерпує всі аспекти впровадження формування технічного мислення майбутніх інженерів в аспекті інтеграції фізичних та фахових знань під час виконання практичної частини програми з дисципліни «фізика» в контексті фахової підготовки майбутніх інженерів.

5. Отримані результати можуть бути використані для збагачення освітнього процесу з дисципліни «фізика» щодо підвищення практичного спрямування навчання фізики з метою поглиблення теоретичних знань майбутніх інженерів в аспекті інтеграції фізичних та фахових знань майбутніх інженерів.

Список літератури

1. Андреев А. М. Фізика. Лабораторні роботи з творчими завданнями: Навчальний посібник / А. М. Андреев, О.Ю. Осипов. – Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2012. – 174 с.
2. Гуляева Л. В. Вдосконалення методики обробки експериментальних даних лабораторного практикуму: практичний аспект / Л. В. Гуляева // Наукові записки / Ред. кол.: В. Ф. Черкасов, В. В. Радул, Н. С. Савченко та ін. – Випуск 188. – Серія : Педагогічні науки. – Кропивницький: РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2020. – С. 69–72.
3. Hulyaeva L. Competence-oriented physical tasks: educational guide [for teachers, students of higher education institutions; physics teachers and high school students of general educational institutions, employees of methodical departments of educational institutions, graduate students, scientists] / L. Gulyaeva, T. Tatarchuk – Karlsruhe: Scientific-World-NetAkhatAV, 2022. – 195 p.
4. Гуляева Л. В. Компетентно-орієнтовані задачі з фізики для підготовки майбутніх інженерів: практичний аспект / Л. В. Гуляева – Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. – Кропивницький: РВВ ЦДПУ ім. В. Винниченка, 2020 – С. 56–63.
5. Гуляева Л. В. Роль фізики у фаховій підготовці майбутніх інженерів / Л. В. Гуляева, Т. В. Татарчук. – Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2020. – № 2. — С. 93–95.
6. Зачек І. Р. Курс фізики: Навчальний підручник / І. Р. Зачек, І. М. Кравчук, Б. М. Романишин, В. М. Габа., Ф. М. Гончар. – Львів : Видавництво «Бескид Біт», 2002. – 376 с.
7. Ольшанецький В.Ю. Фахове спрямування навчання з фізики майбутніх інженерів / В.Ю. Ольшанецький, Л. В. Гуляева, Т.В. Татарчук. – Integration of Education, Science and Business in the Modern Environment: Winter Debates: abstracts of the 1st International Scientific and Practical Internet Conference, February 6–7, 2020. – Dnipro, 2020. –Р. 2. – С. 485–490.
8. Ольшанецький В. Ю. Розвиток критичності мислення майбутніх інженерів / В. Ю. Ольшанецький, Л. В. Гуляева, Рудницький Д. В. – Global science and education in the modern realities ‘2020: conference proceedings. – Seattle : KindleDP, 2020. – С. 363–367.
9. Стандарт вищої освіти України для першого (бакалаврського) рівня галузі знань 13 – Механічна інженерія, [Електронний ресурс] – Режим доступу. –<https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/136-metalurgiya-bakalavr.pdf>.
10. Соколов Є. П. Пошук фізичних закономірностей: навчальний комплекс / Є. П. Соколов, О. А. Лозовенко. – Запоріжжя : Видавничий дім «Гельветика», 2021. – 182 с.

Одержано 14.09.2023

FORMATION OF TECHNICAL THINKING OF FUTURE ENGINEERS IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF PHYSICS: A PRACTICAL ASPECT

- Ol'shanetskii V. Dr. Sc., Professor, Head of the Department of Physical Material Science, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail: olshan@zp.edu.ua*, ORCID: 0000-0002-9485-4896
- Hulyaeva L. PhD (pedagogy), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physics, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail: gulyaeva.ludmila.vlad@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-9766-4860
- Tatarchuk T. Ph. D., Associate Professor of the Department of Physics, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail: tanko.hol@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-6408-0463
- Shepel D. student gr. IF-512sp, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine, *e-mail: danilyk.danilykowsky@gmail.com*

References

1. Andrieiev A. M., Osypov O., Iu. Fyzyka. (2012). Laboratorni roboty z tvorchymy zavdanniamy: Navchalnyi posibnyk [Physics. Laboratory works with creative tasks: Study guide], 174.

2. Huliaeva L. V. (2020). Vdoskonalennia metodyky obrobky eksperymentalnykh danykh laboratornoho praktyku-mu: praktychnyi aspect [Improvement of the method of processing experimental data of laboratory practice: practical aspect], *Scientific notes*, Issue 188, 69–72.
3. Hulyaeva L., Tatarchuk T. (2022). Competence-oriented physical tasks: educational guide [for teachers, students of higher education institutions; physics teachers and high school students of general educational institutions, employees of methodical departments of educational institutions, graduate students, scientists], 195.
4. Huliaeva L. V. (2020). Kompetentno-orientovani zadachi z fizyky dlia pidhotovky maibutnikh inzheneriv: praktych-nyi aspect [Competence-oriented tasks in physics for the training of future engineers: practical aspect], *Scientific notes. Series: Problems of the methodology of physical-mathematical and technological education*, 56–63.
5. Huliaeva L. V., Tatarchuk T. V. (2020). Rol fizyky u fakhovii pidhotovtsi maibutnikh inzheneriv [The role of physics in the professional training of future engineers], *Innovative materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering*, № 2, 93–95.
6. Zachek I. R., Kravchuk I. M., Romanyshyn B. M., Haba V. M., Honchar F. M. (2002). *Kurs fizyky: Navchalnyi pidruchnyk* [Physics Course: Textbook], 376.
7. Olshanetskyi V. Iu., Huliaeva L. V., Tatarchuk T. V. (2020). Fakhove spiamuvannia nav-channia z fizyky mai-butnikh inzheneriv [Professional training in physics for future engineers], *Integration of Education, Science and Business in the Modern Environment: Winter Debates: abstracts of the 1st International Scientific and Practical Internet Conference*, February 6–7, 2020, Dnipro, P. 2, 485–490.
8. Olshanetskyi V. Iu., Huliaeva L. V., Rudnytskyi D. V. (2020). Rozvytok krytychnosti mys-lennia maibutnikh inzheneriv [Development of critical thinking of future engineers], *Global science and education in the modern realities '2020: conference proceedings*, Seattle: KindleDP, 363–367.
9. Standart vyshchoi osvity Ukrainy dlia pershoho (bakalavrskoho) rivnia haluzi znan 13 – Mekhanichna inzheneriia [Standard of higher education of Ukraine for the first (bachelor) level of field of knowledge 13 – Mechanical engineering], <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/21/136-metalurgiya-bakalavr.pdf>.
10. Sokolov Ye. P., Lozovenko O. A. (2021). *Poshuk fizychnykh zakonomirno-stei: navchalnyi kompleks* [Search for physical regularities: educational complex], 2021, 182.