

УДК 373.3/.5.091.33-047.58:53

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2023-4-3>

Валентин САВОШ

кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Воли 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9499-885X>

Григорій КОБЕЛЬ

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Воли 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3774-0032>

Бібліографічний опис статті: Савош, В., Кобель, Г. (2023). Комплексне використання засобів моделювання у процесі реалізації енергетичного підходу до розв'язування фізичних задач. *Фізика та освітні технології*, 4, 21–27, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-4-3>

**КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ
У ПРОЦЕСІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ
ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ФІЗИЧНИХ ЗАДАЧ**

У контексті забезпечення особистісних і суспільних запитів та потреб педагогічна й учнівська спільноти відчували необхідність у оновленні підходів щодо організації навчально-пізнавальної діяльності як такої, що стимулює до постійного оновлення власних знань і вмінь, сприяє виникненню, зростанню й закріпленню бажання здійснювати навчання впродовж життя, готує до творчої самореалізації в суспільстві. Відповідно до змісту Державного стандарту базової середньої освіти та проєкту Державного стандарту профільної середньої освіти однією з вимог до обов'язкових результатів навчання учнів є моделювання процесів і ситуацій, розроблення стратегій, планів дій для розв'язання проблемних ситуацій. Отож, актуальному та перспективному особистісному становленню учня закладу загальної середньої освіти, формуванню і розвитку його потреби постійно набувати нових компетентностей та досягати обов'язкових результатів може й має посприяти цілеспрямоване навчання основам моделювання і побудова моделей.

Методологічною основою пропонованого дослідження є наукові джерела щодо різноаспектного розгляду проблеми моделювання.

У статті проаналізовано застосування моделювання у процесі розв'язування фізичних задач. Зокрема розкрито процес комплексного використання засобів моделювання (фізичного, математичного, комп'ютерного моделювання, моделювання задачної ситуації, моделювання розв'язування задачі) у процесі розв'язання фізичних задач з теми «Механічна енергія» учнями закладів загальної середньої освіти. Для практичного відображення теоретичних результатів дослідження були обрані та використанні дані психометричного аналізу результатів зовнішнього незалежного оцінювання з фізики.

Отож, суть полізасобового моделювання як методу опосередкованого пізнання полягає у з'ясуванні та відтворенні необхідних для дослідника властивостей реальних об'єктів, предметів та явищ за допомогою інших об'єктів (матеріального чи ідеального характеру).

Ключові слова: модель, моделювання, засоби моделювання, енергетичний підхід, фізична задача.

Valentyn SAVOSH

Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13, Volya Ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9499-885X>

Hryhoriy KOBEL

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya

To cite this article: Savosh, V., Kobel, H. (2023). Kompleksne vykorystannia zasobiv modeliuвання u protsesi realizatsii enerhetychnoho pidkходу do rozv'язuvannia fizychnykh zadach [Integrated use of modeling tools in the process of implementing the energy approach to solving physical tasks]. *Physics and Educational Technology*, 4, 21–27, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2023-4-3>

INTEGRATED USE OF MODELING TOOLS IN THE PROCESS OF IMPLEMENTING THE ENERGY APPROACH TO SOLVING PHYSICAL TASKS

In the context of meeting personal and social demands and needs, the pedagogical and student communities felt the need to update approaches to the organization of educational and cognitive activities as such, which stimulates the constant updating of their knowledge and skills, promotes the emergence, growth, and consolidation of the desire to pursue lifelong learning, and prepares for creative self-realization in society. According to the content of the State Standard of Basic Secondary Education and the draft State Standard of Specialized Secondary Education, one of the requirements for mandatory student learning outcomes is modeling processes and situations, and developing strategies and action plans to solve problem situations. Therefore, the actual and promising personal development of a general secondary education student, the formation and development of his or her need to constantly acquire new competencies and achieve mandatory results can and should be facilitated by targeted training in the basics of modeling and model building.

The methodological basis of the proposed study is the scientific sources on the multidimensional consideration of the problem of modeling.

The article analyzes the use of modeling in the process of solving physical problems. In particular, the process of integrated use of modeling tools (physical, mathematical, computer modeling, modeling of a problem situation, modeling of solving a problem) in the process of solving physical problems on the topic "Mechanical energy" by students of general secondary education institutions is revealed. For the practical reflection of the theoretical results of the study, the data of psychometric analysis of the results of the external independent evaluation in physics were selected and used.

Thus, the essence of poly-mechanical modeling as a method of indirect cognition is to find out and reproduce the properties of real objects, subjects and phenomena necessary for the researcher with the help of other objects (material or ideal).

Key words: model, modeling, modeling tools, energy approach, physical task.

Актуальність проблеми. Розв'язування задач є одним із найважливіших складників освітнього процесу з фізики. Під час навчання учнів розв'язуванню задач вчителі дотримуються певної послідовності дій. Початком діяльності із задачею є опрацювання її умови та з'ясування фізичного змісту. Саме на цьому етапі в учнів виникають значні труднощі, які в подальшому унеможливають правильне розв'язання задачі. Дані психометричного аналізу результатів зовнішнього незалежного оцінювання з фізики переконливо свідчать про несформованість у здобувачів освіти вміння розв'язувати задачі (ЗНО/НМТ).

Кожна фізична задача має модельне відношення до дійсності, яка набагато складніша, багатогранніша, ніж це подано в її умові. Тому всяку фізичну задачу слід розглядати як модель реального процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідно до міркувань Л. Калапуші (Калапуша, 2007), завдання, що вирішуються за допомогою моделювання, можна поділити на

три групи. Перша група завдань тісно пов'язана з розвитком теорій, перевірки гіпотез, збиранням наукових фактів. Розв'язання другої групи завдань дає змогу дістати інформацію в прискореному або сповільненому часі про роботу нових приладів або установок у реальних умовах або умовах, близьких до реальних. Третя група завдань спрямована суто на педагогічні цілі.

Аналіз наукових джерел засвідчив, що проблема застосування моделювання в освітньому процесі закладів загальної середньої та вищої освіти набула різноаспектного розгляду, зокрема, використання навчальних моделей (Калапуша, 2007) та математичного моделювання (Калапуша, 2000; Кобель, 2019); побудова моделей до задач (Головіна, 2021), моделювання розв'язування задач (Гончаренко, 2004); фізичного моделювання під час вивчення законів збереження (Кобель, 2019); застосування інформаційно-комп'ютерних технологій як засобу реалізації тематичного ФІН-моделювання у процесі організації навчання в закладах

вищої педагогічної освіти та освіти дорослих (Мієр, 2021); організація самостійної пізнавальної діяльності старшокласників засобами моделювання (Савош, 2016); полідіяльнісний базис організації навчально-пізнавальної діяльності здобувачів освіти (Голодюк, 2011).

Метою статті є розкриття застосування полізасобового моделювання у процесі розв'язування фізичних задач.

Виклад основного матеріалу дослідження.

На нашу думку, початковим етапом розв'язування задачі є організація моделювання під час опрацювання її умови, іншими словами моделювання задачної ситуації, яке здійснюється на основі абстрагування заданої ситуації, та її заміни близькою ідеалізованою моделлю, для опису якої використовуються відповідні рівняння й закони, які відомі учням. Такий підхід слугує усвідомленому опрацюванню змісту умови задачі, виокремленню основних елементів умови (іменованих нами «смысловими одиницями») для побудови моделі, відображення зв'язків і відношень між смысловими одиницями в моделі, передбачення перспективи використання смыслових одиниць і встановлення зв'язків та відношень під час розв'язання задачі.

Комплексне використання декількох засобів моделювання та встановлення послідовності їх запровадження під час розв'язування фізичних задач є другим етапом діяльності учнів.

Дотриманням цієї умови передбачається встановлення вчителем відповідності між об'єктом пізнання та 1) головним очікуваним результатом діяльності учнів; 2) навченістю й научаністю школярів; 3) умовами, в яких організовується діяльність учнів щодо розв'язування фізичних задач; 4) можливістю візуалізації об'єкта пізнання одним або декількома засобами моделювання; 5) доцільністю використання декількох засобів моделювання з огляду на сприяння більш продуктивному перебігу процесу пізнання, оптимальному використанню інтелектуальних і часових ресурсів під час досягнення головного очікуваного результату діяльності учнів; 6) послідовністю запровадження різних засобів моделювання на основі руху від простого до складного; 7) синергетичним підсиленням результатів діяльності учнів з огляду на те, що сумарна ефективність використання різних засобів моделювання значно

вища, ніж ефективність одного окремо взятого засобу (приміром, фізичного моделювання чи математичного).

Моделюванням розв'язування задачі, що є наступним етапом, передбачається здійснення перекодування інформації умови задачі, яке слугує основою фіксування в моделі зміни й розвитку знакового представлення. Тобто, здійснюється цілеспрямоване поетапне кількаразове переформулювання інформаційного контенту умови задачі, яке реалізовуючись у постійному узгодженні із вимогою задачі, призводить до її розв'язання (рис. 1).

Як приклад, розглянемо задачу, яка була запропонована учасникам зовнішнього незалежного оцінювання з фізики у 2021 році. *Задача. 1* (№ 31, 2021). Бетонний циліндричний стовп, що лежав на горизонтальному дні глибокого озера, водолази поставили вертикально. Висота стовпа 4 м, маса 600 кг. Визначте мінімальну роботу, яку мали виконати водолази, піднявши стовп. Уважайте, що густина бетону 2000 кг/м^3 , густина води 1000 кг/м^3 , прискорення вільного падіння 10 м/с^2 . Поперечні розміри стовпа не враховуйте. Відповідь запишіть у кілоджоулях (кДж).

Як видно із психометричного аналізу (табл. 1), лише 5%, або 1170 випускників із 23 407 осіб, які взяли участь у ЗНО, отримали правильну відповідь [10, с. 362].

Для розв'язування цього завдання потрібно було застосувати поняття, закономірності, експериментальні результати з кількох тематичних блоків, їхніх розділів або тем програми зовнішнього незалежного оцінювання з фізики.

Дано:

$$\rho_{\text{в}} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_{\text{б}} = 2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$l = 4 \text{ м}$$

$$m = 600 \text{ кг}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$A - ?$$

Розв'язування. *Моделювання задачної ситуації.* Маємо бетонний циліндричний стовп, який лежить горизонтально. На нього діють сила тяжіння та сила реакції опори. В задачі

нічого не сказано про структуру дна, тому можна вважати, що на лежачий на дні стовп ще діє архімедова сила. В реальній ситуації, як правило, дно є глинистим і вода під стовп не потрапляє, тобто у початковий момент на стовп діє сила тиску шару води але не діє архімедова сила. В умові можна виділити такі проблеми: 1) яким способом відбувається піднімання стовпа; 2) у якій точці стовпа доцільно прикладати силу; 3) у якому напрямку прикладати цю силу, вона стала за модулем і напрямком чи ні; 4) при яких умовах робота по підніманню буде мінімальною; 5) як врахувати той факт, що робота виконується не у повітрі а у воді. Оскільки озеро глибоке, то логічно вважати, що його глибина більша від 4 м і стовп весь час перебуває у воді.

Постає питання, яким чином подолази ставили стовп у вертикальне положення? Для аналізу цього процесу варто використати фізичне моделювання. Беремо дерев'яний брусок

і переводимо його із горизонтального положення у вертикальне різними способами.

Перший спосіб. Прикладаємо силу \vec{F} до одного з кінців і поступово обертаємо його навколо нижньої точки тобто другого кінця стовпа (рис. 2). Оптимальним є випадок, коли ця сила перпендикулярна до осі стовпа. При цьому плече прикладеної сили дорівнює висоті стовпа і момент сили буде найбільшим. У цьому випадку зріст водолазів має бути порівняний із висотою стовпа. Сила \vec{F} постійно змінює напрямок у просторі від вертикального до горизонтального. Стовп обертають повільно із сталою швидкістю, тому алгебраїчна сума моментів сил рівна нулю. Для визначення сили \vec{F} запишемо правило моментів відносно точки O: $Fl - (mg - F_A)\frac{l}{2} \cos \alpha = 0$. Звідки $F = \frac{1}{2}(mg - F_A) \cos \alpha$. Кут α змінюється від 0° до 90° . Модуль прикладеної сили

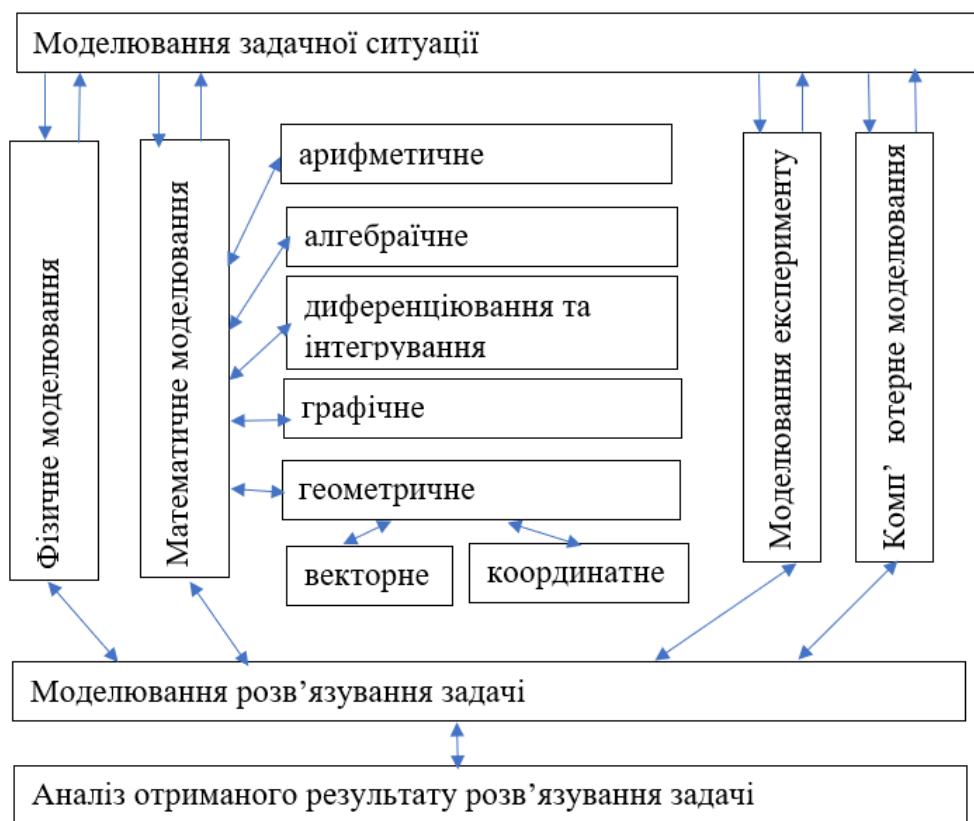


Рис. 1. Полізабове моделювання у процесі розв'язування фізичних задач

Таблиця 1

Відповідь	Розподіл учасників (%) за кількістю набраних балів		Складність (P-value)	Дискримінація (D-index)	Кореляція (Rit)
	0	2			
6	95,0	5,0	5,0	15,1	0,4

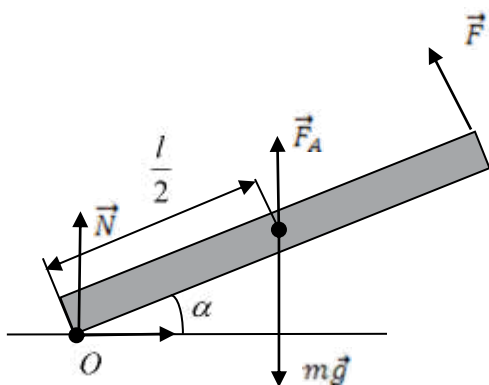


Рис. 2

\vec{F} також змінюється, тому формулу роботи $A = Fl \cos \phi$ застосовувати не можна. Використаємо математичне моделювання. При повороті стовпа на кут $d\alpha$ верхня його точка переміщується вздовж дуги $ds = l d\alpha$. Елементарна робота сили \vec{F} $dA = F ds = Fl d\alpha$. $dA = M d\alpha$, де M – момент сили. $dA = \frac{1}{2}(mg - F_A) \cos \alpha \cdot l d\alpha$.

Для визначення роботи інтегруємо останній вираз. $A = \int_0^{90^\circ} Fl d\alpha = \int_0^{90^\circ} \frac{1}{2}(mg - F_A) l \cos \alpha \cdot d\alpha$.

$$A = \frac{1}{2}(mg - F_A) l \sin \alpha \Big|_0^{90^\circ} = \frac{1}{2}(mg - F_A) l.$$

$$A = \frac{1}{2} \cdot (mg - \rho_e g V) l = \frac{mg}{2} \left(1 - \frac{\rho_e}{\rho_b} \right) l.$$

Виконаємо обчислення:

$$A = \frac{600 \cdot 10}{2} \left(1 - \frac{1000}{2000} \right) \cdot 4 = 6000 \text{ (Дж)} = 6 \text{ кДж}.$$

Другий спосіб. Якщо водолази мають зріст по 2 м, то вони піднімуть стовп на висоту 2 м, яка рівна половині висоти стовпа. Потім, повільно повертаючи його навколо центра мас (середина стовпа), водолази переводять його у вертикальне положення. Механічна робота виконується на етапі піднімання. У цьому випадку можемо використати згадану вище формулу для обчислення механічної роботи: $A = Fl \cos \phi$.

Робота виконується проти рівнодійної сили тяжіння та архімедової сили.

$$A = \frac{l}{2}(mg - F_A) = \frac{l}{2}(\rho_b g V - \rho_e g V) = \frac{l}{2} mg \left(1 - \frac{\rho_e}{\rho_b} \right).$$

Виконаємо обчислення:

$$A = \frac{4}{2} 600 \cdot 10 \left(1 - \frac{1000}{2000} \right) = 6000 \text{ (Дж)} = 6 \text{ кДж}$$

Найпростіший спосіб розв'язати цю задачу – використати енергетичний підхід. Для цього потрібно проаналізувати початкове та кінцеве положення стовпа, а не заглиблюватися у сам процес піднімання. У вертикальному положенні потенціальна енергія стовпа більша. Мінімальна робота рівна зміні потенціальної енергії бетонного стовпа, який перебуває у воді. Якщо не враховувати поперечні розміри стовпа, то його центр мас перемістили вгору на $\frac{l}{2}$.

$$A = \Delta W_n = \frac{(mg - F_A)l}{2} = \frac{l}{2}(\rho_b g V - \rho_e g V) = \frac{l}{2} mg \left(1 - \frac{\rho_e}{\rho_b} \right)$$

При цьому ми абстрагуємося від ряду факторів: вплив сили опору води при русі стовпа, заглиблення нижнього кінця стовпа у ґрунт дна озера, не враховуємо товщину стовпа.

Для глибшого розуміння цієї задачної ситуації можемо розглянути задачі, які є задачами-моделями до неї.

Задача 2. Яку найменшу роботу потрібно виконати, щоб перекинути однорідний блок кубічного перерізу з однієї грані на іншу? Маса тіла m , довжина сторони куба a . Де на практиці використовується такий процес?

Розв'язування: для аналізу задачної ситуації варто використати фізичне моделювання. Беремо, наприклад, картонну коробку кубічного перерізу (можна і порожнисту), яка буде моделлю реального об'єкта (рис. 3). Проводимо експеримент і виявляємо, що достатньо тіло поставити на ребро (кант), а далі воно перекинеться під дією сили тяжіння. Мінімальне значення механічної роботи рівне зміні потенціальної енергії блока. Застосувавши математичне моделювання отримаємо: $A = \Delta W_n = mg \Delta h = mg(h_2 - h_1)$.

$A = mg \left(\frac{\sqrt{2}a}{2} - \frac{a}{2} \right) = \frac{\sqrt{2}-1}{2} mga$. Такий процес переміщення вантажу називається кантуванням

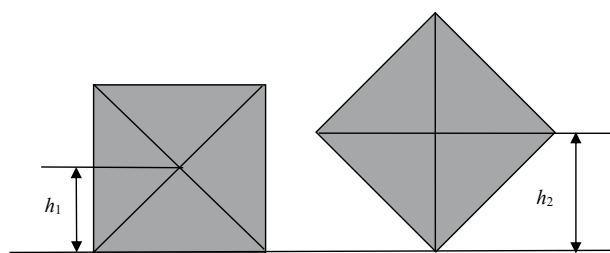


Рис. 3

і часто використовується у практичній діяльності. Для ручного кантування вантажів масою до 100 кг використовують лом у якості важеля.

Розглянемо задачу, у якій враховуємо виштовхувальну силу у повітрі.

Задача 3. У будівельному магазині майстер вибирає утеплювач. Упаковка лежить на горизонтальній підлозі і має форму куба масою $m = 5 \text{ кг}$ зі стороною $a = 0,8 \text{ м}$. Яку найменшу роботу має виконати майстер, щоб перекинути куб з однієї грані на іншу? У приміщенні температура $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, а густина повітря $\rho_n = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Дано:

$$m = 5 \text{ кг}$$

$$a = 0,8 \text{ м}$$

$$\rho_n = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

А-?

Розв'язування. Моделювання задачної ситуації. Мінімальна робота потрібна для переведення куба із грані на ребро. При цьому центр мас куба потрібно підняти на висоту

$$h = \frac{\sqrt{2} \cdot a}{2} - \frac{a}{2} = \frac{\sqrt{2}-1}{2} a. \text{ У даній задачі утеплювач має невелику густину } \rho = \frac{m}{a^3} = \frac{5}{(0,8)^3} \approx 9,8 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Тому, крім сили тяжіння, потрібно враховувати силу Архімеда у повітрі.

$$A = \frac{\sqrt{2}-1}{2} a (mg - F_A) = \frac{\sqrt{2}-1}{2} amg \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho} \right).$$

$$A = \frac{\sqrt{2}-1}{2} \cdot 0,8 \cdot 5 \cdot 9,8 \left(1 - \frac{1,2}{9,8} \right) = 7,12 \text{ (Дж)}$$

Активний процес пізнання починається саме з постановки задачі людиною, яку вона потім розв'язує, адже в житті задачі не бувають чітко сформульованими. Тому варто залучати учнів до складання задач на основі аналізу різних ситуацій. Це сприяє формуванню в них уявлень про реальні процеси та можливості їх моделювання.

Висновки. Доцільне, оптимально результативне використання декількох засобів моделювання (фізичного, математичного, комп'ютерного моделювання, моделювання задачної ситуації, моделювання розв'язування задачі) та встановлення послідовності їх застосування сприяє цілісному, системному, різнобічному вивченню об'єкта пізнання (явища чи процесу, заданого в умові задачі); логічному й поступовому досягненню результату, визначеного метою; підвищенню зацікавленості змістом навчального предмета «Фізика»; оптимальному розумовому, емоційному й фізичному навантаженню старшокласників, тобто, створенню нового дидактичного інструментарію, запровадження якого спричинюватиме не ускладнення діяльності учнів, а слугуватиме створенню оптимального варіанта результативного й динамічного здійснення старшокласником діяльності щодо розв'язування фізичних задач.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Miyer T., Holodiuk L., Omelchuk S., Savosh V., Bondarenko H., Rudenko N., Shpitsa R. (2021). ICT as a means of implementing thematic FIN-modeling in the organization of training in institutions of higher pedagogical and adult education. *AD ALTA. Journal of Interdisciplinary Research*. 11(1), Special XVIII, 26–32.
2. Головіна Н., Кобель Г. Задачі-моделі й моделі до задач. *Фізика та освітні технології*. 2021. № 2, С. 16–22.
3. Голодюк Л. С. Полідіяльнісний базис організації навчально-пізнавальної діяльності учнів 7-9 класів у навчанні математики : наук.-метод. Посіб. Кіровоград : КЗ КОШПО імені Василя Сухомлинського, 2011. 100 с.
4. Гончаренко С.У. Розв'язування навчальних задач з фізики: питання теорії і методики. [С.У. Гончаренко, С.В. Коршак, А.І. Павленко та ін.]; за заг. ред. С.В. Коршака. Київ : НПУ імені М.П. Драгоманова, 2004. 185с.
5. Калапуша Л.Р. Моделі в науці та навчальному процесі з фізики. *Фізика та астрономія в школі*. 2007. № 1. С. 10-13, 2007. № 3. С. 13-17.
6. Калапуша Л.Р., Савош В. О., Мартинюк О. С. Організація самостійної діяльності учнів з фізики на основі використання елементів методу моделювання. *Фізика та астрономія в школі*. 2000. № 1. С. 17-21.
7. Кобель Г.П. Експериментальне вивчення законів збереження. *Навчальний фізичний експеримент у системі сучасних педагогічних технологій: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (3-5 червня 2016 року)*. Луцьк : Вежа-Друк, 2016. С. 29-33.
8. Кобель Г.П., Савош В.О. Готовність учителя фізики до організації самостійного розв'язування старшокласниками фізичних задач засобами математичного моделювання. Професійний розвиток педагогів в умовах освіт-

нього середовища (теоретико-прикладний аспект) : колективна монографія/ за ред. П.С. Олешка, Н. М. Ткачук. Луцьк : КП ІАЦ «Волинський енергософт», 2019. С. 275-282.

9. Савош В. О. Теорія і практика розвитку готовності вчителів фізики до організації самостійної пізнавальної діяльності старшокласників засобами моделювання : навч.-метод. посіб. / В. О. Савош. Луцьк : Вежа-Друк, 2016. 252 с.

10. Офіційний звіт про проведення в 2021 році зовнішнього незалежно оцінювання результатів навчання, здобутих на основі повної загальної середньої освіти. URL: https://testportal.gov.ua/wp-content/uploads/2021/08/ZVIT-ZNO_2021-Tom_2.pdf (дата доступу 20.11.2023).

REFERENCES:

1. Miyer T., Holodiuk L., Omelchuk S., Savosh V., Bondarenko H., Rudenko N., Shpitsa R. (2021). ICT as a means of implementing thematic FIN-modeling in the organization of training in institutions of higher pedagogical and adult education. *AD ALTA. Journal of Interdisciplinary Research*. 11(1), Special XVIII, 26–32.

2. Holovina N., & Kobel H. (2021). Zadachi-modeli y modeli do zadach [Model tasks and models for tasks]. *Fizyka ta osviti tekhnologii*. № 2. [in Ukrainian]

3. Holodiuk L. S. (2011) *Polidiiialnisnyi bazys orhanizatsii navchalno-piznavalnoi diialnosti uchniv 7-9 klasiv u navchanni matematyky [Multi-activity basis for the organization of educational and cognitive activities of 7-9 grade students in learning mathematics]*. Kirovohrad : KZ KOIPPO imeni Vasylia Sukhomlynskooho. [in Ukrainian]

4. Honcharenko S.U., Korshak Ye.V., Pavlenko A.I. ta in. (2004) *Rozviazuvannia navchalnykh zadach z fizyky: pytannia teorii i metodyky. [Solving educational problems in physics: issues of theory and methodology]*. Ye.V. Korshaka (Ed.). Kyiv : NPU imeni M.P. Drahomanova. [in Ukrainian]

5. Kalapusha L.R. (2007) Modeli v nauks ta navchalnomu protsesi z fizyky [Models in science and the educational process in physics]. *Fizyka ta astronomiia v shkoli*. № 1, № 3. [in Ukrainian]

6. Kalapusha L.R., Savosh V. O., Martyniuk O. S. (2000) Orhanizatsiia samostiinoi diialnosti uchniv z fizyky na osnovi vykorystannia elementiv metodu modeliuvannia [Organization of independent activity of students in physics based on the use of elements of the modeling method]. *Fizyka ta astronomiia v shkoli*. № 1. [in Ukrainian]

7. Kobel H.P. (2016) Eksperymentalne vyvchennia zakoniv zberezhennia [Experimental study of conservation laws]. *Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia «Navchalnyi fizychnyi eksperyment u systemi suchasnykh pedahohichnykh tekhnologii»*. Lutsk : Vezha-Druk. [in Ukrainian]

8. Kobel H.P., & Savosh V.O. (2019) Hotovnist uchytelia fizyky do orhanizatsii samostiinoho rozviazuvannia starshoklasnykamy fizychnykh zadach zasobamy matematychnoho modeliuvannia [The physics teacher's readiness to organize high school students' independent solving of physical problems by means of mathematical modeling]. *Profesiyni rozvytok pedahohiv v umovakh osvithnoho seredovyshcha (teoretyko-prykładnyi aspekt)*. Lutsk : KPIATs «Volynenerhosoft». [in Ukrainian]

9. Savosh V. O. (2016) *Teoriia i praktyka rozvytku hotovnosti vchyteliv fizyky do orhanizatsii samostiinoi piznavalnoi diialnosti starshoklasnykiv zasobamy modeliuvannia [Theory and practice of developing the readiness of physics teachers to organize independent cognitive activities of high school students by means of modeling]*. Lutsk : Vezha-Druk. [in Ukrainian]

10. Ofitsiyni zvit pro provedennia v 2021 rotsi zovnishnoho nezalezho otsiniuvannia rezultativ navchannia, zdobutykh na osnovi povnoi zahalnoi serednoi osvity [Official report on the 2021 external independent assessment of learning outcomes obtained on the basis of full general secondary education]. URL: https://testportal.gov.ua/wp-content/uploads/2021/08/ZVIT-ZNO_2021-Tom_2.pdf (data dostupu 20.11.2023). [in Ukrainian]