

УДК 37.016:53]:004.31

ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ GO-LAB ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОСЛІДНИЦЬКО-ОРІЄНТОВАНОГО НАВЧАННЯ З ФІЗИКИ

Юлія Решітник, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини.

ORCID: 0000-0002-7937-2880

E-mail: dikhtiarenko_iu@udpu.edu.ua

Катерина Ільніцька, кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри фізики та інтегративних технологій навчання природничих наук, Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини.

ORCID: 0000-0002-6179-5543

E-mail: e-ilnitskaja@udpu.edu.ua

Розкрито сутність та проаналізовано особливості використання технології дослідницького навчання в підготовці майбутніх учителів природничих наук. Наведено порівняльну характеристику традиційної технології та технології дослідницько-орієнтованого навчання. Проаналізовано можливості екосистеми Go-Lab для формування дослідницького мислення майбутніх учителів природничих наук. Представлено методику, розкрито структуру та зміст усіх етапів дослідницько-орієнтованого навчання на основі платформи Go-Lab. Реалізацію запропонованого підходу продемонстровано на прикладі розробки дослідницького навчального простору із загальної фізики «Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту».

Ключові слова: дослідницько-орієнтоване навчання; інноваційні технології навчання; Go-Lab; Graasp; дослідницький навчальний простір; загальна фізика; компетентності; учитель природничих наук.

USING THE GO-LAB PLATFORM TO ORGANIZE INQUIRY-BASED PHYSICS LEARNING

Yuliia Reshitnyk, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Physics and Natural Sciences Integrative Learning Technologies Department, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.

ORCID: 0000-0002-7937-2880

E-mail: dikhtiarenko_iu@udpu.edu.ua

Kateryna Ilnitska, PhD in Pedagogy, Senior Lecturer at the Physics and Natural Sciences Integrative Learning Technologies Department, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University.

ORCID: 0000-0002-6179-5543

E-mail: e-ilnitskaja@udpu.edu.ua

The article reveals the essence and analyzes the features of the use of inquiry-based technology in the training of future teachers of natural sciences. The comparative characteristics of traditional technology and inquiry-based technology are given. The possibilities of the Go-Lab ecosystem for the formation of research thinking of future teachers of natural sciences are analyzed. The methodology, structure and content of all stages of inquiry-based learning based on the Go-Lab platform are

presented. The component of the Go-Lab ecosystem is the Graasp environment for the creation and use of Inquiry Learning Spaces (ILS). This student-centered model also allows students to move at their own pace of learning and feel successful. The implementation of the proposed approach is demonstrated by the example of the development of Inquiry Learning Spaces in general physics "Movement of a body thrown at an angle to the horizon". This ILS will help students to determine the dependence of flight range/altitude/flight time on the initial parameters (throwing angle/initial speed), etc. A model of the Go-Lab research cycle with five main stages is described. The possibilities of organizing collaboration for teachers and students with the help of digital services and applications Go-Lab are presented. Students' collaboration is carried out through communication to exchange ideas, share responsibility for the result, joint research and reporting, and facilitate their preparation for professional selection and professional team's work. In this way, Go-Lab enables inquiry-based learning that promotes the acquisition of deep conceptual domain knowledge and inquiry skills. Prospects for further research are associated with the formation of digital competence of future teachers of natural sciences, in particular with the development of research spaces (ILS) in the Graasp environment. This task can be realized during the students' educational (subject) practice on the basis of the university.

Keywords: *inquiry-based learning; innovative learning technologies; Go-Lab; Graasp; Inquiry Learning Space (ILS); general physics; competencies; science teacher.*

В умовах Євроінтеграції та розбудови системи педагогічної освіти постає гостра потреба у пошуку ефективних технологій для підготовки майбутніх учителів-предметників, які не лише володітимуть комплексом знань, професійних умінь та навичок, а й будуть здатними швидко орієнтуватися у нових педагогічних досягненнях, використовувати інноваційні технології та методи навчання. Перед науково-педагогічними працівниками закладів вищої освіти постають питання вдосконалення змісту навчальних компонент освітніх програм та використання новітніх технологій. Одним із напрямів оновлення освітнього процесу закладів вищої освіти є використання поряд з традиційними інноваційних технологій. Використання сучасних технологій в освітньому процесі закладів вищої освіти створює нові можливості для реалізації дидактичних принципів індивідуалізації та диференціації навчання, забезпечення ефективною взаємодією викладача і студента в сучасних системах відкритого й дистанційного навчання, переходу студента від навчання до самоосвіти, зокрема і творчої активності.

Останнім часом все більшого поширення при викладанні навчальних дисциплін у закладах вищої освіти набуває технологія дослідницько-орієнтованого навчання (Inquiry Based Learning, IBL). Такий тип навчання передбачає самостійне конструювання здобувачами освіти нових знань шляхом пошуку відповідей на проблемні запитання, а також формулювання власних питань для вирішення освітніх завдань. Цей метод ґрунтується на самостійному здобутті знань, пошуку наукової інформації, акцентуванні на стратегії дослідження у навчанні [10].

Одним з ефективних інструментів набуття студентами навичок дослідницького навчання є екосистема Go-Lab. Методичні аспекти використання в освітньому процесі зазначеної платформи висвітлені у роботах [2–5].

Метою статті є обґрунтування перспектив використання екосистеми Go-Lab для розвитку дослідницьких умінь майбутніх учителів природничих наук.

Питання про необхідність включення дослідницької складової у професійну педагогічну діяльність значно актуалізувалися починаючи з другої половини

XIX століття і продовжують залишатися актуальними сьогодні. Головна задача сучасної освіти – розвиток у студентів самостійності й здібностей до самоорганізації, комунікабельності й толерантності, формування дослідницьких умінь і навичок.

Технологія дослідницького навчання передбачає науковий підхід до вирішення практичних проблем. В основі такого навчання знаходиться висунення гіпотез, їх перевірка, розгляд альтернатив, доведення й обґрунтування. Як правило, у цьому контексті користуються індуктивними та дедуктивними методами, що означає вибір певної логіки розкриття змісту досліджуваної теми – від часткового до загального й від загального до часткового, тобто від проведення спостережень до висунення гіпотези й від висунення гіпотези до підтвердження або ж її спростування.

Технологія дослідницько-орієнтованого навчання суттєво відрізняється від традиційних технологій навчання. Її перевагою є отримання студентом суб'єктивно нових знань. На основі аналізу літературних джерел представимо порівняльну характеристику технологій у вигляді таблиці 1 [1; 6].

Таблиця 1

Порівняльна характеристика традиційної технології та технології дослідницько-орієнтованого навчання

Традиційна технологія	Технологія дослідницько-орієнтованого навчання
Основна увага зосереджується на засвоєнні змісту навчального матеріалу	Основна увага зосереджується на процесі навчання для формування навичок вирішення проблем
У центрі навчання – викладач	У центрі навчання – студент
Викладач передає інформацію «у готовому вигляді»	Викладач організовує самостійну активну пізнавальну діяльність студентів, консулює і допомагає
Студенти отримують знання і мало запитують	Студенти беруть активну участь у побудові знань
Оцінювання орієнтоване на одну правильну відповідь	Оцінювання ґрунтується на розумінні змісту теоретичного матеріалу і розвитку практичних навичок
Навчання здійснюється через запам'ятовування наукових концепцій	Навчання здійснюється через дослідження
Пошук однієї правильної відповіді	Питання і дослідження відкриті для нових ідей і рішень
Студент отримує необхідні визначення й наукові факти	Студент самостійно формулює визначення залежно від результатів міркувань
Виконання лабораторних робіт за інструкцією	Дослідження як засіб реалізації ідей на практиці
Експеримент як демонстрація явища пізнання	Експеримент як засіб для пошуку вирішення проблем

Дослідницько-орієнтоване навчання тісно пов'язане з іншими технологіями навчання: проблемним, кооперативним, евристичним навчанням, проєктною технологією, технологією розвитку критичного мислення тощо [7–9].

Особливості діяльності викладача та студента під час дослідницько-орієнтованого навчання приведемо в таблиці 2.

Таблиця 2

Діяльність викладача та студента в дослідницько-орієнтованому навчанні

Діяльність викладача	Діяльність здобувача освіти
керує і координує процес навчання	вчиться і хоче вчитися
використовує запитання, які спрямовують студентів до розуміння й досягнення певних цілей	виконує завдання і спостереження, використовуючи відповідні інструменти
не підштовхує студентів до цілі, а допомагає в аналізі завдання, формулюванні гіпотези і пропонує методи перевірки достовірності результатів	проявляє активність під час роботи в команді, співпрацює і використовує свої індивідуальні навички для досягнення загальних цілей
проводить підготовку матеріалів і обладнання для студентів	ставить запитання, висловлює ідеї та об'єктивно оцінює ідеї інших
пропонує очікувані питання та ідеї для студентів	планує способи перевірки ідей
обирає методи роботи зі студентами	обробляє інформацію практично

Навчання фізики на основі дослідження не є принципово новим і завжди було одним з головних способів передачі знань. Проблему організації навчальних досліджень з фізики розглядали, зокрема, С. Д. Абдурахманов, А. Є. Бойкова, Д. О. Данилов, О. С. Дементьєва, Ю. О. Жук, Н. А. Іваницька, М. Г. Ковтунович, О. С. Кодікова, В. О. Котляров, І. В. Сальник, О. М. Соколюк, В. В. Слюсаренко тощо.

Дослідницькі вміння формуються під час розв'язування експериментальних задач, виконання лабораторних робіт. Розв'язання експериментальних задач вимагає безпосередніх вимірювань з подальшим використанням результатів цих вимірювань як початкових даних для визначення інших величин або виконання простих дослідів та їх пояснення на основі знань теоретичного матеріалу. Такі задачі розвивають спостережливість і сприяють глибшому розумінню суті явищ, виробленню навичок формулювати гіпотези та перевіряти їх на практиці. Експериментальні задачі слугують пропедевтикою до виконання лабораторних робіт або ж розвитку сформованих умінь і навичок у процесі виконання лабораторних робіт.

Для формування дослідницького мислення у студентів під час виконання лабораторних робіт викладач готує тільки завдання, а шляхи їх виконання студенти знаходять самі та самостійно виконують усі етапи дослідження – складають установку, проводять вимірювання, обраховують результати і похибки дослідження, встановлюють достовірність результатів вимірювань тощо. Для цього напередодні виконання лабораторної роботи доцільно запропонувати студентам обміркувати можливість непрямого вимірювання певної величини, самостійно вказати необхідні прилади та способи проведення вимірювань. Пропозиції студентів обговорюються під час заняття та укладаються пункти виконання роботи. Усю наступну роботу повністю самостійно виконують студенти. Роль викладача полягає лише в контролі за діями студентів.

Дієвим засобом у вирішенні окреслених завдань у контексті впровадження інноваційних технологій в освітній процес закладів загальної середньої та вищої освіти є використання екосистеми Go-Lab.

Дослідницько-орієнтоване навчання в екосистемі Go-Lab здійснюють згідно з цілісним дослідницьким циклом (рис. 1), воно складається з таких етапів [13]:

- Орієнтація (Orientation) – на цьому етапі здійснюється загальне ознайомлення студентів з новою темою, основними поняттями дослідження,

- а також рефлексія пов'язана з практичним досвідом;
- Концептуалізація (Conceptualization) – це етап, на якому студенти навчаються самостійно створювати проблемні запитання та гіпотези з теми, що вивчається;
 - етап безпосереднього Дослідження (Investigation) дозволяє учасникам платформи здійснювати активне експериментування з використанням віддалених (віртуальних) лабораторій для підтвердження або спростування сформульованої гіпотези;
 - завершальний етап дослідження – формулювання висновків з урахуванням висунутих на початку дослідження проблемних питань чи гіпотез (Conclusion).
 - Обговорення (Discussion) – це етап, на якому студенти можуть дискутувати онлайн з теми дослідження, спілкуватися в чаті та міркувати над майбутніми експериментами.

На платформі Go-Lab представлені широкі можливості для педагогічної творчості, адже кожен викладач має змогу створити власний віртуальний сценарій заняття або імпортувати ILS інших користувачів для модифікації та подальшого застосування. Для цього необхідно зареєструватися у середовищі Graasp [12]. На рис. 1 представлено структуру базового ILS відповідно до цілісного дослідницького циклу. Зареєстрований у середовищі Graasp викладач має можливість наповнити всі етапи навчання (орієнтація, концептуалізація, дослідження та ін.) власним змістом відповідно до цілей заняття. Для цього використовують додатки, віртуальні лабораторії, а також особисто підібраний дидактичний матеріал до заняття, електронні ресурси тощо.

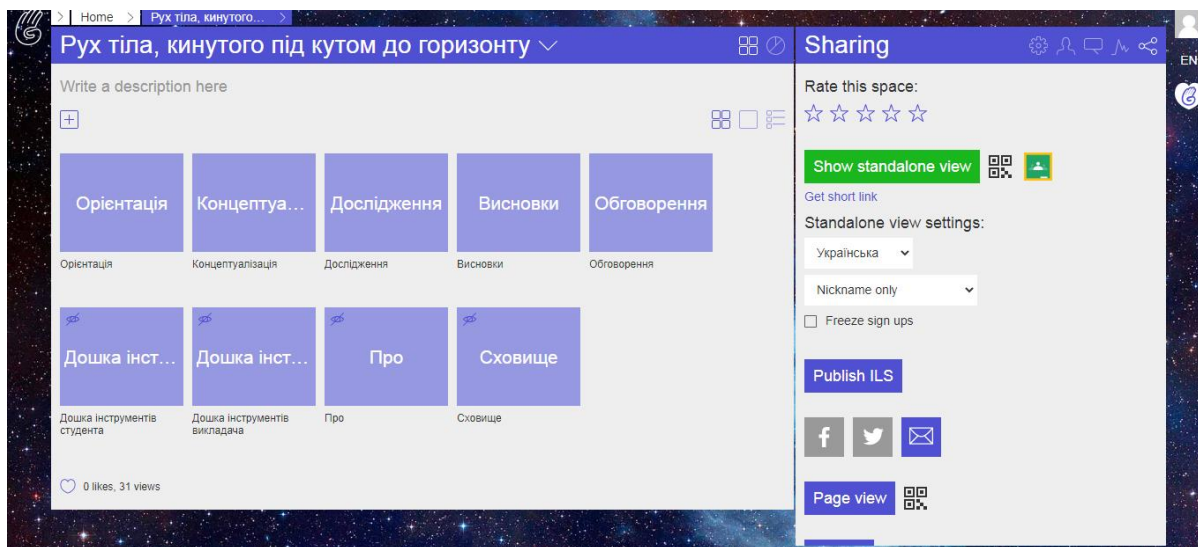


Рис. 1. Структура дослідницького навчального середовища у Graasp

Якщо навчально-дослідний простір уже опубліковано на платформі Go-Lab [11], він стає загальнодоступним.

Дослідницька навчальна діяльність здобувачів освіти передбачає їхню самостійну активність за представленими етапами, відповідно викладач виступає у ролі

організатора їхньої самостійної активної пізнавальної діяльності та здійснює навчальну аналітику.

Розглянемо більш детально ILS з фізики «Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту», створеного для студентів спеціальності 014 Середня освіта (Природничі науки). Відповідно до структури навчання за технологією IBL запропонований нами ILS складається з п'яти блоків: Орієнтація, Концептуалізація, Дослідження, Висновки та Обговорення. На кожному з етапів студенти мають змогу ознайомитись із текстом блоку та виконати певні завдання.

З метою початкового огляду теми в блоці «Орієнтація» подано історичні відомості та основні поняття теми, завантажено авторське відео прикладів рухів тіл, кинутих під кутом до горизонту у навколишньому середовищі (рис. 2).

Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту з деякою початковою швидкістю являє собою складний рух. Вивчення особливостей такого руху почалося в XVI столітті і було пов'язане з появою і удосконаленням артилерійських гармат.

і дайте відповідь на запитання:
Якою буде траєкторія польоту тіла, кинутого під кутом до горизонту?

Type here

Рис. 2. Блок «Орієнтація»
ILS «Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту»

На етапі «Концептуалізація» (рис. 3) студентам запропоновано декілька конкретних запитань з метою їх критичного розмірковування та підведення до формулювання гіпотези (припущення існування причинно-наслідкового зв'язку між двома (або кількома) змінними). На цьому етапі студентів слід розділити на підгрупи (для можливості спілкування під час пізнавальної роботи) і за необхідності допомогти сформулювати гіпотези дослідження, що дозволяють, наприклад, встановити залежність дальності польоту L / висоти підйому h_{max} / часу польоту $t_{польоту}$ від початкових параметрів (кута кидання α / початкової швидкості v_0), встановити форму траєкторії руху тіла без та з урахуванням сили опору повітря тощо.

The screenshot shows the 'Conceptualization' block of the ILS. The main content area contains the following text and elements:

- Header: Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту
- Text: - найбільшою висотою підняття тіла h_{max}
- Text: Використовуючи ресурси мережі Інтернет знайдіть формули для обчислення даних величин. Від яких початкових параметрів вони залежать?
- Form: Type here
- Text: За яких умов дальність польоту буде максимальною?
- Form: Type here
- Text: Для руху тіла, кинутого під кутом до горизонту в однорідному полі сили тяжіння, рівняння траєкторії має вигляд:
- Text: Поміркуйте: Як на траєкторію тіла впливає опір повітря?
- Form: Type here
- Text: Сформулюйте гіпотезу дослідження
- Terms section: Якщо то збільшити зменшити початкова швидкість дальність польоту висота підняття опір середовища траєкторія кут кидання [type your own]
- Hypotheses section: Drop and arrange your terms here.

Рис. 3. Блок «Концептуалізація»
ILS «Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту»

На етапі «Дослідження» (рис. 4) студентам пропонується перевірити або спростувати сформульовану гіпотезу у віртуальній лабораторії. За необхідності слід допомогти студентам скласти алгоритм дій (якщо команда не знає, як рухатись далі, то викладач дає підказки або розповідає весь шлях розв'язання).

Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту

Орієнтація
Концептуалізація
Дослідження
Висновки
Обговорення

В Лабораторії моделюючої програми "Рух снарядів" проведіть експеримент для підтвердження або спростування Вашої гіпотези. Напишіть і розкажіть як Ви це будете робити!

Type here

Рух снарядів

Вступ Вектори Опір

Гравітація 9.81 м/с²
Опір повітря
Висота над рівнем моря 0 м
Коефіцієнт опору 0.47

Початкова швидкість 14 м/с
Нормально
Повільно

Результати дослідження запишіть до таблиці.

Table	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
1.												

Рис. 4. Блок «Дослідження» ILS «Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту»

Зокрема, для того щоб встановити, як дальність польоту L залежить від початкових параметрів – кута кидання α та початкової швидкості v_0 , необхідно виконати такі дії (вимірювання виконуються за відсутності опору повітря):

1. Провести вимірювання за сталого значення початкової швидкості v_0 . Самостійно задати значення початкової швидкості і, змінюючи кут α , занести в таблицю значення дальності польоту L .

$$v_0 = \dots \text{ м/с}$$

$\alpha, ^\circ$	5	15	25	35	45	55	65	75	85
$L, м$									

2. Провести вимірювання за сталого значення кута нахилу α . Самостійно вибрати кут нахилу гармати α , і, змінюючи початкову швидкість v_0 , занести в таблицю значення дальності польоту L .

$$\alpha = \dots^\circ$$

$v_0, м/с$	5	10	15	20	25	30
$L, м$						

Далі студенти поетапно виконують та фіксують результати експерименту, роблять висновки та обговорюють їх.

На етапі «Висновки» студенти повертаються до своїх початкових дослідницьких питань або гіпотез і роблять висновки, чи відповідають вони результатам дослідження.

Етап «Обговорення» (рис. 5) передбачає не лише односпрямований процес, коли студенти презентують отримані висновки іншим, а й передбачає дискусію, яка розглядається як більш широкий, двоспрямований процес.

The screenshot shows a digital learning interface for the topic "Motion of a body thrown at an angle to the horizontal". On the left, there is a navigation menu with options: "Орієнтація", "Концептуалізація", "Дослідження", "Висновки", and "Обговорення". The main content area contains four numbered questions in Ukrainian: 1. "Якою є траєкторія тіла, кинутого під кутом до горизонту?", 2. "Чи є рух тіла, кинутого під кутом до горизонту рухом із прискоренням?", 3. "Під дією якої сили відбувається рух?", and 4. "Наведіть приклади, де у житті ми зустрічаємося з рухом тіла, кинутого під кутом до горизонту?". Below the questions, it says "Ваші відповіді запишіть на дошці." (Write your answers on the board). The board area shows a light pink background with three yellow sticky notes, one of which is labeled "Added by 1".

Рис. 5. Блок «Обговорення» ILS «Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту»

Зокрема, студентам пропонують взяти участь у дискусії, обговорити висновки в групі, оцінити власний прогрес та результати діяльності в команді.

Важлива роль інноваційних технологій у сфері вищої освіти обумовлена їхньою здатністю стимулювати навчально-пізнавальну і науково-дослідну діяльність студентів, підвищувати загальний рівень їхньої професійної підготовки. До дослідницької діяльності студентів слід залучати поетапно. Це сприятиме розвитку в них інтересу до

знань у галузі фізики та природничих наук. Безумовно, платформа Go-Lab створює умови для дослідницько-орієнтованого навчання, здійснення інтерактивної взаємодії учасників освітнього процесу, а також виявленню талановитих і обдарованих студентів.

Перспективи подальших досліджень пов'язуємо з формуванням цифрової компетентності майбутніх учителів природничих наук, зокрема з розробкою дослідницьких просторів (ILS) у середовищі Graasp. Це завдання можна реалізувати під час проходження студентами навчальної (предметної) практики на базі університету.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондар В. І. Дидактика: підручник для студентів педагогічних спеціальностей. К.: Либідь, 2005. 264 с.
2. Будник О. Б., Дзябенко О. В. Використання інструментарію платформи Go-Lab для розвитку дослідницьких умінь школярів. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2020, Том 80, № 6. С. 1–20.
3. Вембер В. П. Використання екосистеми Go-Lab для організації дослідницького навчання. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2018. № 5. С. 41–50.
4. Воротникова І. П. Використання додатків Go-Lab для організації дослідження в умовах електронної співпраці вчителів та учнів. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. Спецвип. 2019. С. 405–417.
5. Годованиук Т. Л., Махомета Т. М., Тягай І. М. Інноваційні навчальні технології – основа модернізації методичної підготовки майбутнього вчителя математики. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. Спецвип. 2019. С. 107–115.
6. Грицай Н. Дослідницько-орієнтоване навчання біології в сучасній загальноосвітній школі. *Педагогічні науки : теорія, історія, інноваційні технології*. 2017. № 4. С. 177–189.
7. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). Розпорядження Кабінету Міністрів від 5 серпня 2020 р. No 960-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text> (дата звернення: 24.01.2022).
8. Ляшенко О. І., Терещук С. І. Критичне мислення як технологія компетентнісного навчання фізики. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка*. Серія: Педагогічна. 2017. Вип. 23. С. 162–166.
9. Нова українська школа: концептуальні засади реформування середньої школи. URL: <http://mon.gov.ua/activity/education/zagalna-serednya/ua-sch2016/konczepczyia.html> (дата звернення: 24.01.2022).
10. Akkus R., Gunel M., Hand B. Comparing an Inquiry-Based Approach Known as the Science Writing Heuristic to Traditional Science Teaching Practices: Are There Differences? *International Journal of Science Education*. 2007. Vol. 29, No. 14. pp. 1745–1765.
11. Go-Lab Portal. URL: <https://www.golabz.eu> (дата звернення: 24.01.2022).
12. Graasp Environment. URL: <http://graasp.eu> (дата звернення: 24.01.2022).
13. Pedaste M. et al. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*. 2015. No 14. pp. 47–61.

REFERENCES

1. Bondar, V. I. (2005). *Dydaktyka: pidruchnyk dlia studentiv pedahohichnykh spetsialnostei*. Kyiv: Lybid [in Ukrainian].
2. Budnyk, O. B., Dziabenko, O. V. (2020). *Vykorystannia instrumentariiu platformy Go-Lab dlia rozvytku doslidnytskykh umin shkoliariv. Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia, issue. 80, 6, 1–20* [in Ukrainian].
3. Vember, V. P. (2018). *Vykorystannia ekosystemy Go-Lab dlia orhanizatsii doslidnytskoho navchannia. Vidkryte osvittnie e-seredovyshe suchasnoho univertsytetu, 5, 41–50* [in Ukrainian].
4. Vorotnykova, I. P. (2019). *Vykorystannia dodatktiv Go-Lab dlia orhanizatsii doslidzhennia v umovakh elektronnoi spivpratsi vchyteliv ta uchniv. Vidkryte osvittnie e-seredovyshe suchasnoho univertsytetu, 405–417* [in Ukrainian].
5. Hodovaniuk, T. L., Makhometa, T. M., Tiahai, I. M. (2019). *Innovatsiini navchalni tekhnolohii – osnova*

- modernizatsii metodychnoi pidhotovky maibutnoho vchytelia matematyky. *Vidkryte osvितnie e-seredovyshche suchasnoho universytetu*, 107–115 [in Ukrainian].
6. Hrytsai, N. (2017). Doslidnytsko-orіentovane navchannia biolohii v suchasniі zahalnoosvitniі shkoli. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnolohii*, 4, 177–189 [in Ukrainian].
 7. Kontsepsiia rozvytku pryrodnycho-matematychnoi osvity (STEM-osvity). Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv vid 05.08.2020 r. No 960-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text> [in Ukrainian].
 8. Liashenko, O. I., Tereshchuk, S. I. (2017). Krytychne myslennia yak tekhnolohiia kompetentnisnoho navchannia fizyky. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu im. Ivana Ohienka. Seriia: Pedahohichna, issue 23*, 162–166 [in Ukrainian].
 9. Nova ukrainska shkola: kontseptualni zasady reformuvannia serednoi shkoly. URL: <http://mon.gov.ua/activity/education/zagalna-serednya/ua-sch2016/konczepczyia.html> [in Ukrainian].
 10. Akkus, R., Gunel, M., Hand, B. (2007). Comparing an Inquiry-Based Approach Known as the Science Writing Heuristic to Traditional Science Teaching Practices: Are There Differences? *International Journal of Science Education*, Vol. 29, 14, 1745–1765.
 11. Go-Lab Portal. URL: <https://www.golabz.eu>.
 12. Graasp Environment. URL: <http://graasp.eu>.
 13. Pedaste, M. et al. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61.