

УДК 5:378.091.313-044.247:[004:5:62]

DOI <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-4>

Олександр МАРТИНЮК

доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі, 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: 0000-0003-4473-7883

SCOPUS-AUTHOR ID: 57224619200

Галина МИРОНЧУК

доктор фізико-математичних наук, професор, директор Навчально-наукового фізико-технологічного інституту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: 0000-0002-9088-3825

SCOPUS-AUTHOR ID: 36245422900

Сергій ПАНКЕВИЧ

аспірант кафедри експериментальної фізики, інформаційних та освітніх технологій, Волинський національний університет імені Лесі Українки, пр. Волі 13, м. Луцьк, Україна, 43025

ORCID ID: 0000-0002-5715-2107

Бібліографічний опис статті: Мартинюк, О., Мирончук, Г., Панкевич, С. (2022). Організаційно-методичні умови використання цифрових лабораторій у системі впровадження освітнього напрямку STEM. *Фізика та освітні технології*, 1, 34–40, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-4>

ОРГАНІЗАЦІЙНО-МЕТОДИЧНІ УМОВИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ЛАБОРАТОРІЙ У СИСТЕМІ ВПРОВАДЖЕННЯ ОСВІТНЬОГО НАПРЯМУ STEM

Сучасні освітні вимоги щодо виховання активної й творчої особистості передбачають набуття вміння адаптуватися до стрімких змін сьогодення, генерувати нестандартні рішення завдань для навчання впродовж усього життя. Завдання закладів освіти – забезпечення реалізації цих якостей, формування предметних та ключових компетенцій, формування засобів підвищення мотивації до навчання. У статті проаналізовано аспекти концепції впровадження напрямку STEM в світову та вітчизняну освітню галузь. Проведений аналіз наукових праць з проблеми розвитку STEM-освіти дозволив встановити особливості навчання фізики з врахуванням впровадження сучасних технологій. До складників STEM-навчання фізики відносять засоби дистанційного, змішаного навчання у поєднанні із сучасними мережевими технологіями. Така концепція особливо актуальна в умовах воєнного стану. Керуючись рекомендаціями державної програми підвищення якості природничо-математичної освіти, акцентовано увагу на використанні сучасних цифрових лабораторій. Використання цифрових лабораторій дає можливість організувати фізичний експеримент на принципово новому рівні. Наведено приклад комплексного виконання експерименту з використанням цифрової лабораторії. Результати проведеного педагогічного експерименту переконливо доводять, що використання цифрових лабораторій є потужним інструментом та ефективним засобом навчання учнів та студентів.

Ключові слова: освітній напрям STEM, цифрова лабораторія, змішане навчання, фізичний експеримент.

Oleksandr MARTYNIUK

Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Professor at the Department of Experimental Physics, Information and Educational Technologies, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID ID: 0000-0003-4473-7883

SCOPUS-AUTHOR ID: 57224619200

Galina MYRONCHUK

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Physics and Technology, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Ukraine, 43025

ORCID ID: 0000-0002-9088-3825

SCOPUS-AUTHOR ID: 36245422900

Serhii PANKEVYCH

Postgraduate Student, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya Ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025

ORCID ID: 0000-0002-5715-2107

To cite this article: Martyniuk, O., Myronchuk, G., Pankevych, S. (2022). Orhanizatsiino-metodychni umovy vykorystannia tsyfrovyykh laboratorii u systemi vprovadzhennia osvithnoho napriamu STEM [Organizational and methodological conditions for the use of digital laboratories in the system of STEM educational direction implementation]. *Physics and Educational Technology*, 1, 34–40, doi: <https://doi.org/10.32782/pet-2022-1-4>

ORGANIZATIONAL AND METHODOLOGICAL CONDITIONS FOR THE USE OF DIGITAL LABORATORIES IN THE SYSTEM OF STEM EDUCATIONAL DIRECTION IMPLEMENTATION

Modern educational requirements for the education of an active and creative personality provide for the acquisition of the ability to adapt to the rapid changes of today, to generate non-standard solutions to tasks for lifelong learning. The task of educational institutions is to ensure the realization of these qualities, the formation of subject and key competencies, the formation of means of increasing the motivation of students to study. The article analyzes the aspects of the concept of introducing the STEM direction into the global and domestic education industry. The analysis of scientific works on the problem of the development of STEM education made it possible to establish the peculiarities of teaching physics, considering the introduction of modern technologies. The components of STEM education in physics include means of distance, blended learning in combination with modern network technologies. This concept is especially relevant in the conditions of martial law. Guided by the recommendations of the state program for improving the quality of science and mathematics education, emphasis is placed on the use of modern experimental tools and digital laboratories. The use of digital laboratories makes it possible to organize a physical experiment at a fundamentally new level. An example of complex research implementation with the use of a digital laboratory is presented. The results of the conducted pedagogical experiment convincingly prove that mixed learning technologies using digital laboratories are powerful tool in the work of the teacher and an effective means of learning for pupils and students.

Key words: STEM educational direction, digital laboratory, blended learning, physical experiment.

Вступ. В Україні уже не перший рік впроваджується світовий освітній бренд STEM-освіта (Science, Technology, Engineering, Mathematics), що сприяє посиленню інтелектуального розвитку та якісному навчанню природничих й інженерно-технічних дисциплін. Робототехніка, конструювання, програмування, моделювання, 3D-проекткування та багато іншого – ось що тепер цікавить сучасних молодь усього світу. Для реалізації цих інтересів необхідні більш складні навички та компетенції. Важливо не тільки знати й уміти, але також досліджувати та винаходити. Необхідно одночасно розвиватися в таких ключових академічних сферах, як наука, математика, технології та інженерія, які можна об'єднати одним словом – STEM.

STEM – інтегрований підхід до навчання, в рамках якого академічні науково-технічні концепції вивчаються в контексті реального життя. Ціль такого підходу – створення стійких зв'язків між школою, суспільством, роботою й цілим світом (Іванченко).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Абревіатура «STEM» була вперше запропонована американським бактеріологом Р. Колвелл в 1990-х роках, але активно почала використовуватися з 2000-х років. Нині STEM є однією з головних тенденцій у світовій освіті. Завдяки стрімкому розвитку технологій з'являються нові професії, повсюдно росте потреба в спеціалістах STEM. До прикладу, в європейських країнах прогнозується, що попит на професіоналів у галузі STEM зросте до 2025 року на 8%,

тоді як на інші професії – лише на 3%. У більш ніж 10 країнах Європи розроблені національні стратегії та ініціативи у сфері розвитку і поширення STEM-освіти (Німеччина, Франція, Італія, Нідерланди, Норвегія, Великобританія, Ірландія, Іспанія та інші).

STEM-технології активно впроваджуються в закладах освіти Німеччини, Франції, Великобританії, Австралії, Китаю, Ізраїлю. США у 2009 р. Конгрес запровадили закон «Про координацію дій в області STEM-освіти» (STEM Education Coordination Act of 2009) (Валько, 2018; Валько, 2018).

Особливо інтенсивного розвитку набула STEM-освіта і в Україні, починаючи із прийняття Закону України «Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки», який є чинним і нині (Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні, 2007). Цей фундаментальний закон сприяв актуалізації проблеми розробки нових програм, методів навчання для закладів вищої та загальноосвітніх закладів середньої освіти на базі принципів STEM. Нового імпульсу у розвитку таких технологій освіта одержала після прийняття Кабінетом Міністрів України Розпорядження № 67-р від 17 січня 2018 р., якими затверджено принципи цифровізації Українського суспільства.

Керуючись документами законодавчої та нормативної бази, що окреслюють напрямки розвитку освіти в Україні, робимо висновки про необхідність впровадження технологічного забезпечення освітньої галузі (Стрижак, Сліпухіна та ін., 2017). Тому не випадково перед освітою постало питання необхідності змін у галузі точних, природничих наук та технологій. Сучасний рівень науково-технічного прогресу підвищує роль технічного складника в підготовці майбутніх фахівців, що вимагає використання новітніх технологій навчання для набуття необхідних компетентностей здобувачів освіти. Використання у такій якості STEM-технологій як засобу навчання в методиці навчання природничих наук є поєднанням різних підходів, зокрема інтеграційного та компетентісного, що дозволяє підсилити професійну спрямованість підготовки учнів до здобуття профільної освіти (Садовий, Каленчук, Каленчук, 2021). Окремі аспекти впровадження технологій STEM розглядали україн-

ські науковці: Петро Атаманчук (Атаманчук, Форкун, 2019) (STEM-інтеграція, як важлива інноватика сучасної освітньої парадигми), Ольга Кузьменко (Кузьменко, 2016) (навчання фізики студентів технічних закладів вищої освіти на основі технологій STEM-освіти), Ірина Сліпухіна, Олександр Стрижак, Ігор Чернецький (Стрижак, Сліпухіна та ін., 2017) (особливості застосування мультидисциплінарного підходу у STEM-навчанні, науковий та інженерний методи процесів дослідження у навчанні природничо-математичних дисциплінах) та інші. Особливості формування проєктно-технологічної компетентності визначено у роботах Миколи Садового (Садовий, Каленчук, Каленчук, 2021), Ірини Василяшко та Тетяни Білик (Василяшко, Білик, 2017) вивчали проблему використання та впровадження засобів STEM-технологій.

Незважаючи на достатньо багатий теоретичний доробок вітчизняних та закордонних учених, **актуальною** є проблема реалізації методики поєднання натурного експерименту та цифрових технологій у системі STEM-освіти (Martyniuk, Martyniuk etc., 2021). Не менш важливим є розроблення методичних рекомендацій для забезпечення здобуття освіти наукового та прикладного (фахового) спрямування. **Мета статті** – окреслення концепції поєднання натурного експерименту з використанням цифрової лабораторії як інструменту реалізації змішаного навчання в системі STEM-освіти.

Виклад основного матеріалу дослідження. Освітній напрям STEM виникла за запитом бізнесу, адже на сьогодні переважна частина робочої сили не має навичок XXI століття та не в змозі швидко реагувати на зміни, які несе із собою прогрес. На відміну від класичної освіти, навчаючись з допомогою STEM-технологій, здобувач освіти отримує набагато більше свободи міркувань та дій, що дає можливість вчителю об'єктивніше оцінювати досягнення учня. Завдяки цьому дитина вчиться бути самостійною, приймати власні рішення та брати за них відповідальність.

Для проведення STEAM-уроків, виконання проєктів педагоги можуть використовувати сучасне обладнання. Наприклад:

1. Автономний набір EdProAmperia (<https://amperia.edpro.ua/>), що покриває 100% лабораторних та демонстраційних робіт з курсу

електрики та магнетизму. Працює у приміщеннях без розеток, блок живлення та вимірювальний прилад містять акумулятор. У комплект входять усі компоненти, необхідні для проведення лабораторних та методичні рекомендації.

2. Arduino CTC Go! – CORE MODULE (<https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-ctc-go-core-module>) – це навчальна програма STEAM, що складається з декількох модулів, які можна комбінувати для викладання STEAM на різних предметах. Ці модулі надають викладачам міждисциплінарну програму, де учні спочатку навчаються використовувати технологію як інструмент, а потім застосовують ці знання на практиці. Навчальні комплекти Arduino Education Starter Kit для вивчення електроніки не вимагають знань із програмування чи електроніки. Arduino Education Science Kit Physics Lab призначені для проведення експериментів з рухом, магнетизмом, провідністю та різними фізичними силами.

Керуючись рекомендаціями державної програми підвищення якості природничо-математичної освіти, можна стверджувати, що є **актуальним** ознайомлення та використання сучасних експериментальних засобів та цифрових лабораторій. Використання цифрових лабораторій дає можливість організувати фізичний експеримент на принципово новому рівні, перейти до елементів наукового пізнання – від якісних оцінок досліджуваних явищ до системного аналізу їх кількісних характеристик. Використання цифрових лабораторій в навчальному експерименті з фізики сприяє підвищенню інтересу до вивчення предмету та формуванню експериментаторської складової частини предметної компетентності. Цифрова лабораторія – це сучасна універсальна комп'ютеризована система, яка використовується для проведення широкого спектру досліджень, демонстрацій, лабораторних робіт з фізики, хімії та біології. Використання цифрових лабораторій дозволяє отримати уявлення про суміжні освітні області, такі як: інформаційні технології; сучасне обладнання; математичні функції і графіки, математична обробка експериментальних даних, статистика, наближені обчислення; методика проведення досліджень, складання звітів, презентація виконаної роботи. У порівнянні із традиційним обладнанням цифрові лабораторії надають можливість:

1) скоротити час, який витрачається на підготовку і проведення фронтального або демонстраційного експерименту;

2) підвищити наочність експерименту та візуалізацію його результатів, розширити список експериментів;

3) з великою точністю обробити і проаналізувати дані експерименту;

4) проводити вимірювання у польових умовах;

5) модернізувати традиційний експеримент;

6) створювати відео демонстраційних експериментів, що дає можливість формувати свій банк наочності;

7) порівнювати дані, отримані у процесі проведення експериментів, та виконувати серйозну статистичну обробку результатів.

Проте є і складнощі, які можуть виникнути під час роботи з цифровою лабораторією:

1) неможливість отримання відповідних графічних залежностей (пов'язано зі значною кількістю вимірювань за одиницю часу), що іноді спотворює зміст одержаних результатів;

2) під час обробки графіків використовуються доволі складні перетворення, які не завжди зрозумілі учням;

3) виникає необхідність у виділенні додаткового часу для пояснення матеріалу, пов'язаного з використанням цифрових лабораторій.

У процесі аналізу відгуків користувачів нами було визначено, що питання методики використання цифрових вимірювальних комплексів у закладах загальної середньої освіти та закладах вищої освіти розроблено не достатньо. Ми пропонуємо використовувати цифрову лабораторію реалізації змішаного навчання. Розглянемо приклад використання цифрового вимірювального комплексу «SKOOLTO» (<https://mirroschool.com/catalog/fizika/cifrovoe-izmeritelnoe-oborudovanie-fofizike>), розробленого Українською компанією «Mirroschool» (<https://mirroschool.com/about>). На відміну від аналогічного обладнання, пропонується варіант має низку переваг: значно нижчу вартість, зручний та зрозумілий україномовний інтерфейс, велику кількість необхідних датчиків, графічну візуалізацію отриманих даних, визначення основних параметрів, їх зберігання, експортування у загальноприйнятні формати (xls, pdf). Ще одна особливість комплексу – можливість під'єднання

до мережі для завантаження результатів експерименту користувачу.

Розглянемо приклад інструкції комплексного виконання дослідження «Закон Гука. Визначення жорсткості пружини». У цьому експерименті використовується датчик сили і датчик відстані для градування пружини, для її використання в якості динамометра (рис. 1).



Рис. 1. Установка для визначення жорсткості пружини

Мета роботи – експериментально визначити коефіцієнт жорсткості пружини. Навчитися градувати пружину і за допомогою отриманої шкали вимірювати сили.

Обладнання та матеріали:

1. Цифровий вимірювальний комплекс SKOOLTO.
2. Датчик сили.
3. Датчик відстані.
4. Кабель.
5. Пружина (~15 Н/м).
6. Набір вантажів масою по 50 г.
7. Лабораторний штатив з муфтою і лапкою.

Підготовка експерименту.

1. Запустіть вимірювальний комплекс SKOOLTO.
2. Підключіть датчик відстані за допомогою з'єднувального кабелю до одного з портів зовнішніх датчиків.
3. Підключіть датчик сили за допомогою з'єднувального кабелю до одного з портів зовнішніх датчиків реєстратора даних.

4. Зберіть експериментальну установку відповідно до запропонованої схеми (див. рис. 1):

- 1) прикріпіть до пружини смужку паперу для градування пружини і створення шкали динамометра. Відзначте початкове положення нижнього кінця пружини;

- 2) підвісьте до пружини вантаж масою 100 г;
- 3) переконайтеся, що між підвішеним до пружини вантажем і датчиком відстані немає перешкод.

5. Активуйте датчики.

6. Переконайтеся, що у списку датчиків відзначені галочкою тільки датчик відстані і датчик сили.

7. Встановіть параметри вимірювань в налаштуваннях експерименту:

Датчик відстані	Відстань (м)
Датчик сили	Сила, тяга – додатня (± 10 Н), (Н)
Частота	
Тривалість:	

Виконання експерименту

1. Переконайтеся, що підвішений вантаж знаходиться у стані спокою. Відзначте на папері положення нижнього кінця пружини.

2. Почніть реєстрацію даних. Показання датчика будуть відображатися на екрані у вигляді графіка.

3. Зачекайте 20 с, а потім додайте вантаж масою 50 г, щоб загальна маса становила 150 г. Зачекайте, поки вантаж не буде знаходитися у стані спокою. Відзначте на папері положення нижнього кінця пружини.

4. Зачекайте ще 20 с, потім знову додайте вантаж масою 50 г і дочекайтеся стану спокою. Знову відзначте на папері положення нижнього кінця пружини.

5. Повторюйте пункт 4 і додавайте вантажі по 50 г, поки не досягнете сумарної маси вантажу 500 г.

6. Зупиніть експеримент.

7. Збережіть експеримент.

8. Використовуйте два курсору, щоб визначити видовження пружини після кожного додавання вантажу. Запишіть ці значення в таблицю даних для різних мас вантажів.

Маса вантажу m , г	Сила пружності $F_{пр}$, Н	Видовження тіла Δl , м
-------------------------	--------------------------------	-----------------------------------

Аналіз результатів експерименту

1. Яка була величина сили пружності, коли підвішена маса становила 100 г?

2. Використовуйте дані датчика сили, щоб заповнити другий стовпець у таблиці даних. Запишіть значення сили пружності в ньютонках.

3. Використовуйте дані з датчика відстані, щоб заповнити третій стовпець у таблиці даних. Запишіть видовження в метрах.

4. Побудуйте графік залежності сили пружності від видовження пружини, що проходить через початок координат.

5. Визначте коефіцієнт нахилу прямої

6. Використовуйте графік для розрахунку коефіцієнта жорсткості пружини k .

7. Зніміть пружину зі штатива і проти відміток на папері проставте числа 0; 0,5; 1; 1,5; 2 ... Зверху напишіть «Ньютон».

8. Виміряйте відстань між сусідніми відмітками. Чи однакові вони? Чому?

9. За допомогою проградуєваного динамометра спробуйте виміряти вагу якогось тіла.

В умовах дистанційного навчання експеримент може виконувати учитель і про-

вести відеотрансляцію, використовуючи сервіс Google Meet [<https://meet.google.com/>]. Висновки за результатами виконаної роботи учні надсилають на перевірку, використовуючи сервіс Google Classroom. [<https://classroom.google.com/>].

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отже, розроблений та адаптований методичний та технічний інструментарій відповідає виконанню організаційно-методичних вимог в рамках реалізації STEM освіти. Підготовка учнів та студентів за запропонованою нами методикою використання цифрової лабораторії підвищує рівень умінь здійснювати постановку експериментаторської проблеми та шукати шляхи її розв'язання, що забезпечує формування предметної та цифрової компетентності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Агаманчук П.С., Форкун Н.В. Впровадження елементів STEM-освіти в освітній процес. *Наукові записки Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка*. Серія : Педагогічні науки. 2019. Вип. 179. С. 15–24.
2. Бугайчук К.Л. Змішане навчання: теоретичний аналіз та стратегія впровадження в освітній процес вищих навчальних закладів. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2016. Т. 54, № 4. С. 1–18.
3. Валько Н.В. STEM-освіта вчителів у країнах Сходу та Австралії. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. 2018. № 61. С. 36–47.
4. Валько Н.В. Досвід впровадження STEM-освіти у США та Канаді. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету*. Сер.: Педагогічні науки. 2018. Вип. 3. С. 9–20.
4. Василяшко І.П., Білик Т.В. Упровадження STEM-навчання – відповідь на виклик часу. *Управління освітою*. Київ, 2017. № 2(386). С. 28–31.
5. Гончарова Н.О. Понятійно-категоріальний апарат з проблеми дослідження аспектів STEM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України: зб. наук. праць*. Київ, 2017. Вип.10. С. 104–114.
6. Іванченко Н.М. Принципи впровадження та переваги STEM-освіти URL: <https://timso.koipro.kr.ua/hmura13/ivanchenko-nataliya-mykolajivna-pryntsyru-vprovadzhennya-ta-perevahy-stem-osvity/> (дата звернення: 06.07.2022).
7. Засоби та обладнання STEM. URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/zasobi-ta-obladnannya-stem/> (дата звернення: 08.07.2022).
8. Кузьменко О.С. Сутність та напрямки розвитку STEM-освіти. *Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. Кіровоград, 2016. Вип. 9. Ч. 3. С. 188–190.
9. Martyniuk, O.O., Martyniuk, O.S., Pankevych, S. and Muzyka, I., 2021. Educational direction of STEM in the system of realization of blended teaching of physics. *Educational Technology Quarterly* [Online], 2021(3), p.1. Available from: <https://doi.org/10.55056/etq.39> [Accessed 29 July 2022].
10. Наказ МОН від 29.02.2016 № 188 «Про утворення робочої групи з питань впровадження STEM-освіти в Україні». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0188729-16#Text>. (дата звернення: 06.07.2022).
11. Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007–2015 роки : Закон України. *Голос України* від 06.02.2007. № 21.
12. Садовий М.І., Каленчук Е.В., Каленчук А.Т. Підготовка майбутніх учителів фізики, хімії, біології та природничих наук у контексті вимог Нової української школи: *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Формування предметної компетентності з природничих наук в учнів старшої школи засобами STEM-технологій 20 травня 2021 р.»*, м. Тернопіль. С. 294.
13. Стрижак О.Є., Сліпучіна І.А., Полісун Н.І., Чернецький І.С. Ключові поняття STEM-освіти. *Наукові записки Малої академії наук України : зб. наук. праць*. Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2017. Вип.10. С. 89–103.
14. STEM-освіта: теорія і практика: анотований каталог / укладачі: С.М. Грицай, С.В. Кода. Суми : НВВ КЗ СОІППО, 2021. 52 с.

REFERENCES:

1. Atamanchuk P. S., Forkun N. V. (2019) Vprovadzhenia elementiv STEM-osvity v osvitnii protses. *Naukovi zapysky Tsentralnoukrainskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Volodymyra Vynnychenka. Seria : Pedahohichni nauky*. 2019. Vyp. 179. S. 15-24 [in Ukrainian].
2. Buhaichuk K. L. (2016) Zmishane navchannia: teoretychni analiz ta stratehiia vprovadzhenia v osvitnii protses vyshchikh navchalnykh zakladiv. *Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia*. 2016. T. 54, № 4. S. 1-18. [in Ukrainian].
3. Valko N. V. (2018) STEM-osvita vchyteliv u krainakh Skhodu ta Avstralii. *Problemy inzhenerno-pedahohichnoi osvity*. 2018. № 61. S. 36-47. [in Ukrainian].
4. Valko N.V. (2018) Dosvid vprovadzhenia STEM-osvity u SShA ta Kanadi. *Naukovi zapysky Berdianskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu. Ser.: Pedahohichni nauky*. 2018. Vyp. 3. S. 9-20. [in Ukrainian].
4. Vasylyashko I.P., Bilyk T.V. (2017) Uprovadzhenia STEM-navchannia – vidpovid na vyklyk chasu. *Upravlinnia osvitoiu*. Kyiv, 2017. № 2 (386). S. 28-31. [in Ukrainian].
5. Honcharova N. O. (2017) Poniatiino-katehorialnyi aparat z problemy doslidzhennia aspektiv STEM-osvity. *Naukovi zapysky Maloi akademii nauk Ukrainy: zb. nauk. prats*. Kyiv, 2017. Vyp.10. S. 104-114. [in Ukrainian].
6. Ivanchenko N. M. Pryntsypy vprovadzhenia ta perevahy STEM-osvity URL://timso.koippo.kr.ua/hmura13/ivanchenko-nataliya-mykolajivna-pryntsypy-vprovadzheniya-ta-perevahy-stem-osvity/(data zvernennia: 06.07.2022). [in Ukrainian].
7. Zasoby ta obladnannia STEM. URL: <https://imzo.gov.ua/stem-osvita/zasobi-ta-obladnannya-stem/> (data zvernennia: 08.07.2022). [in Ukrainian].
8. Kuzmenko O. S. (2016) Sutnist ta napriamky rozvytku STEM-osvity. *Naukovi zapysky. Seria: Problemy metodyky fizyko-matematychnoi i tekhnolohichnoi osvity*. Kirovohrad, 2016. Vyp. 9. Ch. 3. S. 188-190. [in Ukrainian].
9. Martyniuk, O.O., Martyniuk, O.S., Pankevych, S. and Muzyka, I., (2021) *Educational direction of STEM in the system of realization of blended teaching of physics. Educational Technology Quarterly [Online]*, 2021(3), p.1. Available from: <https://doi.org/10.55056/etq.39> [Accessed 29 July 2022]. [in English].
10. Nakaz MON vid 29.02.2016 № 188 «Pro utvorennia robochoi hrupy z pytan vprovadzhenia STEM-osvity v Ukraini». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0188729-16#Text>. (data zvernennia: 06.07.2022). [in Ukrainian].
11. Pro Osnovni zasady rozvytku informatsiinoho suspilstva v Ukraini na 2007-2015 roky : Zakon Ukrainy. Holos Ukrainy vid 06.02.2007. № 21. [in Ukrainian].
12. Sadovyi M.I., Kalenchuk E.V., Kalenchuk A.T. (2021) Pidhotovka maibutnikh uchyteliv fizyky, khimii, biolohii ta pryrodnychkh nauk u konteksti vymoh Novoi ukrainskoi shkoly: *Materialy III Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii «Formuvannia predmetnoi kompetentnosti z pryrodnychkh nauk v uchniv starshoi shkoly zasobamy STEM-tekhnologii 20 travnia 2021 r. »*, m. Ternopil. S.294. [in Ukrainian].
13. Ctryzhak O.Ie., Slipukhina I.A., Polusun N.I., Chernetskyi I.S. (2017) Kliuchovi poniattia STEM-osvity. *Naukovi zapysky Maloi akademii nauk Ukrainy : zb. nauk. prats*. Kyiv : Instytut obdarovanoi dytyny NAPN Ukrainy, 2017. Vyp.10. S. 89-103. [in Ukrainian].
14. STEM-osvita: teoriia i praktyka : anotovanyi kataloh / ukladachi: S. M. Hrytsai, S. V. Koda. Sumy : NVV KZ SOIPPO, 2021. 52 s. [in Ukrainian].