

РОЗДІЛ 2. ТЕОРІЯ І МЕТОДИКА ПРОФЕСІЙНОЇ ОСВІТИ

СТВОРЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОДУКТІВ ЯК РЕЗУЛЬТАТ ВПРОВАДЖЕННЯ STEM-ПІДХОДУ В ОСВІТНІ ПРОГРАМИ «СЕРЕДНЯ ОСВІТА (ФІЗИКА ТА АСТРОНОМІЯ)» ТА «ПРИКЛАДНА ФІЗИКА»

INNOVATIVE PRODUCTS DEVELOPMENT AS A RESULT OF STEM APPROACH IMPLEMENTATION IN THE EDUCATIONAL PROGRAMS «SECONDARY EDUCATION (PHYSICS AND ASTRONOMY)» AND «APPLIED PHYSICS»

У статті розглянуто проблему підготовки майбутніх фізиків та вчителів фізики та астрономії до організації взаємодії між суб'єктами творчого середовища під час виконання інноваційних STEM-проектів. Головна мета цієї роботи – висвітлити авторський підхід щодо формування у здобувачів освіти досвіду здійснення інноваційної діяльності та керівництва учнівськими STEM-проектами, що реалізований в Запорізькому національному університеті, а також проілюструвати результати цього підходу на прикладі створення інноваційного продукту «Анемометр».

Для формування у здобувачів вищої освіти здатностей до здійснення інноваційної діяльності, до впровадження засад STEM-освіти як одного з пріоритетних напрямів модернізації сучасної природничої освіти запропоновано цілеспрямовано залучати студентів до виконання інноваційних проектів (під час вивчення деяких дисциплін, в межах роботи творчих груп, під час виробничої та педагогічної практики). В процесі роботи над інноваційним проектом майбутні фізики набувають досвіду реалізації основних етапів інноваційної діяльності (від постановки проблеми до апробації отриманих результатів), який майбутні вчителі фізики та астрономії також будуть використовувати у подальшій педагогічній діяльності для організації пошукової роботи з учнями.

Описаний в статті інноваційний продукт «Анемометр» є прикладом результату виконання здобувачами освіти інноваційних проектів, що засвідчує ефективність впровадження STEM-підходу в освітні програми «Середня освіта (Фізика та астрономія)» та «Прикладна фізика». Зазначений пристрій має практичну значущість для галузей: фізичного експерименту; метеорологічних досліджень на наземних метеостанціях, в навігації – для визначення напрямку та величини швидкості удаваного, істинного та курсового вітру; системи автоматичного регулювання робочих параметрів вітроенергетичних установок.

Ключові слова: STEM-підхід в освіті, творче середовище, інноваційна діяльність, підготовка майбутнього фізика, підготовка майбутнього вчителя фізики та астрономії, освітня програма «Середня освіта (Фізика

та астрономія)», освітня програма «Прикладна фізика», інноваційний продукт, анемометр.

The paper deals with the problem of the training of future physicists and physics and astronomy teachers to organize cooperation between subjects of the creative environment during the implementation of innovative STEM projects. The main goal of this work is to highlight the author's approach for formation in future physicists and physics and astronomy teachers' experience in implementing of innovative activities and managing student STEM projects, which was implemented at Zaporizhzhia National University, and to illustrate the results of this approach using the example of creation of innovative product "Anemometer".

To develop the abilities of higher education students to implement innovative activities and the principles of STEM education as one of the priority areas for the modernization of modern natural science education, it is proposed to purposefully involve students in the implementation of innovative projects (during the study of certain disciplines, within the work of creative groups, during industrial pedagogical practice). During realization of innovative project, future physicists gain experience in implementing all the main stages of innovative activity (from problem formulation to testing the obtained results), according to which future physics and astronomy teachers will organize research work with pupils in their further pedagogical activities.

The innovative product "Anemometer" described in the article is an example of the result of the implementation of such innovative projects by higher education students, which demonstrates the effectiveness of implementing the STEM approach in the educational programs «Secondary education (Physics and astronomy)» and «Applied physics». The specified device has practical significance for the following fields: physical experiment; meteorological research at ground weather stations, in navigation.

Key words: STEM approach in education, creative environment, innovative activity, training of future physicist, training of future physics and astronomy teachers, educational program "Secondary Education (Physics and Astronomy)", educational program "Applied physics", innovative product, anemometers.

УДК 378.093.5.011.3-051:[373.5:(52+53)]:37.091.313
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-6085/2025/83.1.15>

Андрєєв А.М.,
докт. пед. наук, професор,
завідувач кафедри загальної
та прикладної фізики
Запорізького національного
університету

Дуда Є.В.,
канд. фіз.-мат. наук,
ст. викладач кафедри загальної
та прикладної фізики
Запорізького національного
університету

Яновський О.С.,
канд. фіз.-мат. наук, доцент,
доцент кафедри загальної
та прикладної фізики
Запорізького національного
університету

Постановка проблеми у загальному вигляді.

У Концепції Нової української школи [7] зазначається про необхідність формування навичок наукової діяльності та винахідництва. Розв'язанню цього завдання сприяє STEM-підхід в освіті (STEM: S – Science, T – Technology, E – Engineering, M – Mathematics) [8]. Його важливими перевагами є можливість залучення здобувачів освіти до розв'язування практичних проблем у широкій міждисциплінарній предметній галузі. Часто така діяльність реалізується у формі виконання проєктів.

Творчі проєкти – результат роботи не лише самих учнів. Велика роль у їх створенні належить *творчому середовищу*, що об'єднує всіх учасників (вчителі, батьки, наукові консультанти, представники підприємств та ін.) навколо особистості учня. Успішність учнівської інноваційної діяльності залежить від здатності вчителя організовувати таке середовище та здійснювати відповідний супровід учнів. Тож важливою є *проблема* формування у майбутніх вчителів (зокрема, вчителів фізики та астрономії) здатності організовувати інноваційну діяльність учнів в освітньому процесі, а також здійснювати педагогічний супровід учня на всіх етапах цієї діяльності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемі підготовки майбутнього фізика та вчителя фізики до використання інноваційних методів у подальшій професійній діяльності, організації творчого пошуку здобувачів освіти у навчанні фізики присвячені дослідження вітчизняних та зарубіжних вчених-методистів. Зокрема, проблема впровадження інноваційних технологій навчання фізики досліджена в роботі О. І. Іваницького [5]. Різні аспекти активізації творчої діяльності учнів та розвитку їх творчого мислення у процесі навчання фізики досліджували А. А. Давиденко [4] (запропонував методичну систему розвитку творчих здібностей учнів у процесі навчання фізики на основі моделі повного циклу творчості), Б. Г. Кремінський [6] (досліджені засади роботи з інтелектуально обдарованою учнівською та студентською молоддю), Р. І. Швай [9] (робота присвячена розвитку креативності учнів у процесі навчання фізики) та інші вчені-методисти. У роботі [10] (L. Atkins, I. Salter) описано метод навчання майбутніх фахівців у процесі розроблення та створення моделей невідомих об'єктів, проєктування експерименту та обговорення результатів. У дослідженні [11] (Carli M., Pantano O.) розглянуто аспекти підготовки вчителів фізики у процесі виконання практичних (експериментальних) робіт з учнями. У статті [12] (E. Etkina, B. Gregorcic, S. Vokos) досліджуються підходи до набуття майбутніми вчителями фізики особистого досвіду професійної діяльності (зокрема, ознайомлення здобувачів освіти з найкращими зразками педагогічної діяльності,

занурення їх до професійного середовища, використання різних форм наставництва).

Попри численні дослідження різних аспектів підготовки майбутніх фізиків та вчителів фізики та астрономії до здійснення інноваційної педагогічної діяльності, на сьогодні маловивченою залишається проблема набуття ними досвіду організації інноваційної (винахідницької, дослідницької) діяльності під час навчання фізики та астрономії, досвіду педагогічного супроводження учнів на різних етапах цієї діяльності.

Мета статті. Головна мета цієї роботи – висвітлити авторський підхід щодо формування у здобувачів вищої освіти, що проходять підготовку за освітніми програмами «Середня освіта (Фізика та астрономія)» та «Прикладна фізика» досвіду здійснення інноваційної діяльності та керівництва STEM-проєктами, що реалізований в Запорізькому національному університеті (ЗНУ), а також проілюструвати результати цього підходу на прикладі створення інноваційного продукту «Анемометр».

Виклад основного матеріалу статті. Проблема організації інноваційної діяльності учнів та студентів була предметом тривалих (понад 20 років) досліджень одного з авторів (А. М. Андрєєва). Результатом їх узагальнення стала технологія супроводження учнів під час створення інноваційних STEM-проєктів [1]. У цій технології розглянуті особливості керівництва творчою діяльністю здобувачів освіти, зокрема, наведені психолого-педагогічні засади їх супроводження під час виконання таких проєктів. Різні аспекти професійної підготовки майбутнього вчителя фізики до організації інноваційної діяльності в освітньому процесі були висвітлені в авторській монографії [2]. Результати цих досліджень колектив авторів впровадив в освітніх програмах «Середня освіта (Фізика та астрономія)» та «Прикладна фізика» для першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти, що реалізуються в ЗНУ. Зокрема, в освітньому процесі передбачені такі напрями квазіпрофесійної діяльності студентів:

- виконання інноваційних проєктів під час вивчення деяких дисциплін (освітня програма «Середня освіта (Фізика та астрономія)»: «Технологія реалізації STEM-підходу у навчанні фізики та астрономії», «Організація навчальних досліджень з фізики та астрономії», «Технологія організації винахідницької діяльності учнів з фізики та астрономії» та ін.; освітня програма «Прикладна фізика»: «Методологія та організація наукових досліджень», «Сучасні методи дослідження матеріалів»);

- залучення під час виробничої (педагогічної) практики студентів спеціальності «Прикладна фізика» до виконання інноваційних проєктів, а студентів спеціальності «Середня освіта (Фізика та

астрономія)» – до керівництва науково-дослідною роботою учнів;

– організація роботи студентських творчих груп. Цей напрям передбачає виконання інноваційних проєктів, які потім представляються на конференціях та конкурсах різного рівня.

В процесі роботи над інноваційним проєктом здобувачі освіти набувають досвіду реалізації основних етапів інноваційної діяльності (від постановки проблеми до апробації отриманих результатів). Зокрема, цей досвід майбутні вчителі будуть застосовувати у подальшій педагогічній діяльності для організації пошукової роботи з учнями.

Різновидами інноваційних продуктів – результатів виконання інноваційних проєктів – можуть бути *технічні рішення*, що мають практичне значення для техніки (в нашій практиці такими рішеннями були винаходи студентів: «Хвильова енергетична установка», «Геліоустановка», «Вітродвигун», «Індукторний електрогенератор» та багато інших); *дидактичні засоби* (зокрема, демонстраційні пристрої, макети; програмні продукти); *методи й форми STEM-орієнтованого навчання* (наприклад, авторські конкурси, маршрути наукового туризму для популяризації STEM-дисциплін, цикли творчих задач). Зазвичай, навіть суто технічні інноваційні продукти студентів можна застосовувати у педагогічному процесі як дидактичні засоби (наприклад, для використання в демонстраційному експерименті; для створення тематичного циклу теоретичних та/або експериментальних задач).

Як ілюстрація впровадження STEM-підходу в ЗНУ в процес підготовки майбутніх фізиків та вчителів фізики та астрономії розглянемо один з його результатів – інноваційний продукт «Анемометр». Над розробленням цього технічного рішення працювала творча група, учасниками якої були здобувачі освіти (учні та студенти). Також на різних етапах виконання проєкту долучалися викладачі, патентні повірені, експерти-консультанти та інші.

Інноваційний проєкт «Анемометр». Прилади для вимірювання швидкості вітру (або взагалі газових потоків) називаються *анемометрами* (від грецької *anemos* – вітер, та *metreo* – вимірювання). Вони використовуються для метеорологічних досліджень на метеостанціях, в навігації (зокрема, на судах); для спостережень під час вивчення астрономії, географії; як елемент системи автоматичного регулювання частоти обертання вітроенергетичних установок та в інших пристроях.

Творчій групі було запропоновано розробити анемометр, який можна використовувати для метеорологічних (на метеостанціях) та навчальних (під час вивчення курсів фізики та астрономії) спостережень, та який би був позбавлений недоліків вже існуючих пристроїв аналогічного призначення.

Цими недоліками є, наприклад, відсутність можливості одночасного визначення швидкості та напрямку вітру за допомогою одного пристрою; неможливість або складність здійснення цифрової обробки результатів, що також ускладнює зберігання даних, отриманих із датчика; знижена точність вимірювання через чималу кількість механічних з'єднань.

Конструкція анемометра. Першим кроком у розв'язанні окресленого завдання було використання природного аналогу у конструкції анемометра. Відомо, що рослина, яка хитається вітром (комиш, тополя тощо), здатна витримувати навіть штормові вітри. Зі збільшенням швидкості вітру кут нахилу рослини збільшується, а напрямок її нахилу «автоматично» змінюється залежно від напрямку вітру. Цю ідею було використано творчим колективом за співавторства учня 11 класу Запорізького багатопрофільного ліцею № 99 Олександра Оленєва у винаході під назвою «Анемометр» (патент України № 43782 [3]). Датчиком швидкості вітру в цьому винаході є парус – легка куля, що нерухомо закріплена на одному з кінців стрижня, на іншому його кінці закріплене джерело світла, яке випромінює спрямований на реєструючий пристрій пучок світла (рис. 1).

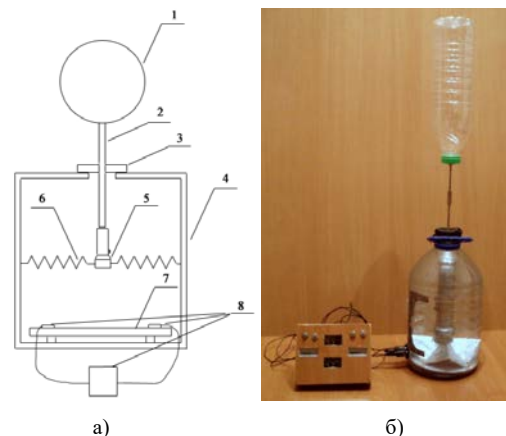


Рис. 1. Прототип анемометра: а) схема пристрою: 1 – парус, 2 – стрижень, 3 – еластична та герметична накладка, 4 – ударостійкий циліндричний корпус, 5 – спрямоване джерело світла, 6 – пружини, 7 – підставка для реєструючої частини, 8 – реєструючий пристрій; б) діюча модель

За відсутності вітру стрижень з кулею займає рівноважне вертикальне положення. При виникненні вітру повітряний потік чинить тиск на парус. Що більшою є швидкість вітру, то більшим стає кут відхилення стрижня від вертикального положення. Центр мас поворотної частини пристрою (стрижень з парусом та джерелом світла) знаходиться поблизу осі її обертання – місця проходження стрижня крізь накладку. Тож положення рівноваги поворотної частини визначається рівністю моментів сили тиску

повітря та сили пружності пружин. Площина відхилення стрижня визначається напрямом вітру.

Розглянута вище принципова схема анемометра (прототипу) була згодом вдосконалена зміною принципу створення моменту сили, що протидіє моменту сили вітру. Той факт, що напрямок вітру може становити різні кути із напрямками пружин, призводить до ускладнення кінцевої формули, що пов'язує швидкість вітру та кут, на який відхиляється джерело світла. У вдосконаленій (безпружинній) конструкції анемометра (рис. 2) моменту сили вітру протидіє момент сили тяжіння поворотної частини пристрою. Для цього в конструкції поворотної частини передбачено тягарець, який можна фіксувати в потрібному місці стрижня. Завдяки тягарцю можна змінювати положення центра тяжіння поворотної частини пристрою, а, отже, й регулювати момент сили тяжіння, що повертає стрижень у вертикальне положення за відсутності вітру.

Теоретичне дослідження пристрою. Етап теоретичного дослідження запропонованого рішення був пов'язаний із розв'язанням творчою групою низки задач.

1. Пошук аналітичної залежності зміни кута відхилення φ стрижня (від вертикального положення) за зміни швидкості v вітру $\varphi = \varphi(v)$.

Для розв'язання цієї задачі напишемо умову рівноваги поворотної частини анемометра за умови, що вісь обертання стрижня проходить через центр мас системи «парус – стрижень – джерело світла»:

$$F_1 L \cos \varphi = F_2 l \sin \varphi, \quad (1)$$

де F_1 – сила, що діє з боку повітря на парус; L – відстань від центру паруса до осі обертання стрижня; F_2 – сила тяжіння, що діє на тягарець; l – відстань від центру мас тягарця до осі обертання стрижня; φ – кут нахилу стрижня від вертикалі.

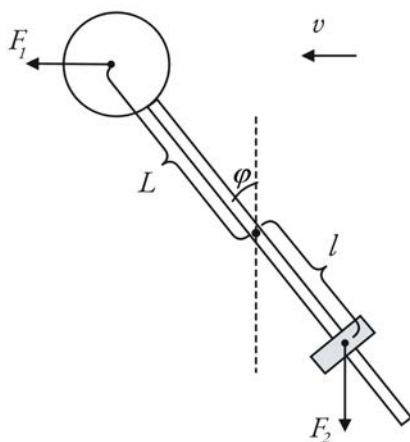


Рис. 2. Схема поворотної частини та діючих на неї сил

у безпружинному анемометрі
Сили F_1 та F_2 визначаються так:

$$F_1 = C \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 S, \quad (2)$$

де C – коефіцієнт аеродинамічного опору паруса; v – швидкість вітру; S – площа поперечного перерізу паруса; ρ – густина повітря.

$$F_2 = mg, \quad (3)$$

де m – маса тягарця; g – прискорення вільного падіння.

Виходячи з (1), момент сили, що повертає стрижень у безпружинній схемі анемометра у початкове положення, буде залежати лише від кута нахилу головної осі. Співвідношення між швидкістю вітру та кутом нахилу стрижня буде мати такий вигляд:

$$v^2 = \frac{2mgl}{C\rho SL} tg\varphi, \quad (4)$$

2. Розрахунок шкали анемометра (визначення способу її градуювання).

Нехай параметри конструкції анемометра підібрані таким чином, що при вимірюваннях швидкості вітру в заданому діапазоні, кут нахилу стрижня є малим, тож виконується співвідношення $tg\varphi \approx \varphi$. Тоді швидкість вітру можна визначити за такою наближеною формулою:

$$v = \sqrt{\frac{2mgl}{C\rho SL}} \varphi. \quad (5)$$

Градування шкали анемометра здійснюється відповідно до формули (5). Вимірювання може здійснюватися як в дистанційному (цифровому), так і візуальному форматах. На рис. 3 наведений зразок шкали для візуального спостереження. Відлік напрямку вітру відбувається за румбовою системою ділення горизонту (N, E, S, W – головні румби; NE, SE, SW, NW – четвертні румби; між четвертними та головними розташовані трилітерні румби – NNE, ENE, ESE, SEE та ін.). Для більш точного вимірювання напрямку вітру на шкалі анемометра можна також розмістити кругову або напівкругову кутову шкалу. Вимірювання величини швидкості вітру відбувається за системою концентричних кіл: кожне коло відповідає певному значенню швидкості (на рис. 3 максимальна межа вимірювання швидкості вітру складає 5 м/с).

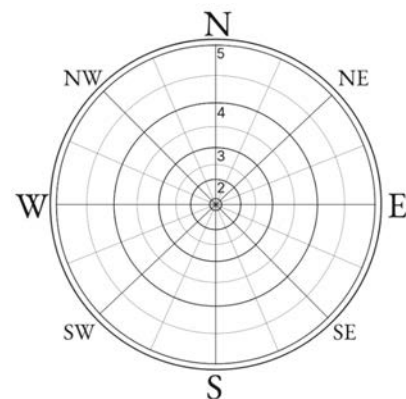


Рис. 3. Приклад шкали запропонованого анемометра: величина швидкості вітру подана у м/с; напрямок вітру визначається за румбовою системою ділення горизонту

3. Визначення відстані від осі обертання стрижня до центра мас поворотної частини анемометра (системи «парус – стрижень – джерело світла»), за якої виконується умова мализни куту повороту φ стрижня.

Наведена схема анемометра дозволяє встановити декілька точок кріплення тягарця на стрижні. Зміна його положення дозволяє налаштовувати пристрій на вимірювання швидкості вітрів у різних діапазонах. З'ясуємо, яким має бути мінімальне значення відстані $l_{\min}$ для того, щоб анемометр із заданими параметрами міг вимірювати швидкість вітру в діапазоні від 0 до $v_{\max}$ із використанням формули (5). Припустимо, що максимальне допустиме значення відхилення від положення рівноваги становить 10° – в цьому випадку відносне відхилення величини кута від величини його тангенсу буде близьким до 1%. Відхилення на такий кут має відповідати максимальній швидкості вітру. В табл. 1 наведені значення $l_{\min}$, розраховані для анемометра з такими параметрами: $S = 0,0126 \text{ м}^2$, $L = 0,2 \text{ м}$, $m = 0,5 \text{ кг}$, $C = 0,7$.

Таблиця 1

Виконання припущення щодо малого кута нахилу стрижня анемометра

№	Максимальна швидкість вітру $v_{\max}$, м/с	Мінімальна відстань між тягарцем та віссю обертання $l_{\min}$, м
1	10	0,13
2	15	0,3
3	20	0,53

Діюча модель анемометра. Експериментальний зразок пристрою, який можна використовувати на практиці, наведено на рис. 4. У його реєструючій частині було використано матрицю від цифрової фотокамери. Через те, що матриця містить велику кількість пікселів, точність визначення положення пучка світла від рухомого світловода значно підвищується (а, отже, підвищується точність визначення швидкості й напрямку вітру). Важливим є те, що сигнал, отриманий з датчика, є електричним. Це дозволяє реалізувати дистанційний режим вимірювання, значно спрощує зв'язок між частинами системи регулювання, наприклад, вітроенергетичної установки; підвищує точність вимірювання; уможливорює зберігання даних, отриманих з датчика, а також цифрову обробку результатів вимірювання.

Апробація пристрою. Інноваційний продукт «Анемометр» пройшов експертну оцінку на міжнародних та всеукраїнських фізико-технічних конкурсах [1]. Зокрема, на Міжнародному конкурсі науково-технічної творчості школярів Intel ISEF–2009 (травень 2009 р., м. Рено, штат Невада, США) розробка посіла III місце у секції «Фізика та астрономія», а також здобула перемогу ще в декількох номінаціях (Перша премія Американської

метеорологічної асоціації, Друга премія Американської асоціації інтелектуальної власності). На державному етапі Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів – членів МАН України (травень 2009 р., м. Київ) робота Олександра Оленєва «Датчик швидкості вітру для системи регулювання робочих параметрів вітроелектроустановок» була відзначена дипломом другого ступеня на відділенні «Технічні науки» (секція «Електроніка та приладобудування»).



а)



б)

Рис. 4. Експериментальний зразок анемометра (розробник: Олександр Оленєв): а) загальний вигляд; б) реєструюча частина пристрою

Розроблений анемометр дозволяє вимірювати швидкість вітру незалежно від його напрямку, знаходити цей напрямок та надсилати результат у вигляді електричного сигналу до реєструючого пристрою. Основними галузями використання розробленого анемометра є такі:

- *фізичний експеримент* (зокрема, під час вивчення аеродинаміки в курсі фізики; під час астрономічних спостережень);

- *метеорологічні дослідження* на наземних метеостанціях, в навігації – для визначення напрямку та величини швидкості вітру: удаваного (відносно судна, що рухається), істинного (відносно нерухомого судна) та курсового (уявного вітру, що в чистому вигляді спостерігається на рухомому судні за умови повного штилю на морі);

- *системи автоматичного регулювання* робочих параметрів вітроенергетичних установок (анемометр в цьому випадку використовується як датчик швидкості вітру, що надсилає результат вимірювання – електричний сигнал до реєструючого органу вітроенергетичної установки).

Висновки. Впровадження STEM-підходу в освітні програми за спеціальністю «Прикладна фізика» дозволяє розкрити проблематику деяких питань фізики, запровадити елементи квазіпрофесійної діяльності, на практиці ознайомити здобувачів освіти з елементами дослідництва та наукового пошуку.

Для формування у здобувачів освіти спеціальності «Середня освіта (Фізика та астрономія)»

здатностей до здійснення інноваційної педагогічної діяльності, до впровадження засад STEM-освіти як одного з пріоритетних напрямів модернізації сучасної природничої освіти запропоновано цілеспрямовано залучати здобувачів освіти до виконання інноваційних проєктів (під час вивчення деяких дисциплін, в межах роботи творчих груп, під час педагогічної практики). В процесі роботи над інноваційним проєктом майбутні вчителі фізики та астрономії набувають досвіду реалізації основних етапів інноваційної діяльності (від постановки проблеми до апробації отриманих результатів), за якими у подальшій своїй педагогічній діяльності організовуватимуть пошукову роботу з учнями.

Описаний в статті інноваційний продукт «Анемометр» є результатом виконання здобувачами освіти інноваційних проєктів, що засвідчує ефективність впровадження STEM-підходу у процес підготовки майбутніх фізиків та вчителів фізики та астрономії. Зазначений пристрій має практичну значущість для галузей: *фізичного експерименту; метеорологічних досліджень* на наземних метеостанціях, в навігації – для визначення напрямку та величини швидкості удаваного, істинного та курсового вітру; *системи автоматичного регулювання* робочих параметрів вітроустановок.

Пріоритетні напрями подальшої роботи пов'язані з впровадженням в освітній процес підготовки майбутніх учителів фізики та астрономії форм діяльності, пов'язаної з педагогічним супроводженням учнів під час виконання інноваційних STEM-проєктів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Андрєєв А. М., Андрєєва О. А. Технологія супроводження учнів під час створення інноваційних STEM-проєктів: навчально-методичний посібник. Одеса : Олді+, 2025. 126 с.
2. Андрєєв А. М. Підготовка майбутнього вчителя фізики до організації інноваційної діяльності учнів у навчальному процесі : монографія. Запоріжжя : Статус, 2018. 380 с.
3. Анемометр: пат. 43782 Україна: МПК G01W1 1/00, G01P 5/00, G01P 5/02. № u200904339; заявл. 30.04.2009; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.
4. Давиденко А. А. Методика розвитку творчих здібностей учнів у процесі навчання фізики (теоретичні основи) : монографія. Ніжин : Аспект-Поліграф, 2004. 264 с.
5. Іваницький О. І. Теоретичні і методичні основи підготовки майбутнього вчителя фізики до впровадження інноваційних технологій навчання : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра пед. наук: 13.00.02. Київ, 2005. 43 с.
6. Кременський Б. Г. Теорія і практика роботи з інтелектуально обдарованою учнівською і студентською молоддю з фізики : монографія. Київ : Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова, 2011. 421 с.
7. Нова українська школа. Концептуальні засади реформування середньої школи. URL: <http://surl.li/hoha> (дата звернення: 15.05.2025).
8. Про схвалення Концепції розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти) : Розпорядження Кабінету міністрів України від 05.08.2020 р. № 960-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-%D1%80#Text> (дата звернення: 31.08.2024).
9. Швай Р. І. Теоретико-методичні засади розвитку креативності учнів у процесі навчання фізики : монографія. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. 348 с.
10. Atkins L., Salter I. Engaging future teachers in having wonderful ideas. *Recruiting and Educating Future Physics Teachers: Case Studies and Effective Practices*. 2015. American Physical Society. P. 199–212. URL: <https://www.phystec.org/webdocs/EffectivePracticesBook.cfm> (last accessed: 20.05.2025).
11. Carli M., Pantano O. Collaborative physics teachers: Enhancing the use of the laboratory through action research in a community of learners. *Physical Review Physics Education Research*. 2023. Vol. 19. № 2. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020162>.
12. Etkina E., Gregorcic B., Vokos S. Organizing physics teacher professional education around productive habit development: A way to meet reform challenges. *Physical Review Physics Education Research*. 2017. Vol. 13. № 1. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010107>.