

<https://doi.org/10.52256/2710-3560.98.2024.98.06>

УДК: 371.38:371.315.5: 372.853

Андрій Давиденко,
 професор, доктор педагогічних наук, професор кафедри
 природничо-математичних дисциплін та
 інформаційно-комунікаційних технологій
 Чернігівський обласний інститут післядипломної
 педагогічної освіти імені К. Д. Ушинського, м. Чернігів
 ORCID ID 0000-0003-1542-8475
 davidenko_an@ukr.net

ІНЖЕНЕРНИЙ СКЛАДНИК STEM

Стаття присвячена проблемі використання STEM-підходів в освіті. В ній, зокрема, розглядається інженерна складова STEM.

Дослідження автора присвячене вивченню пізнання механізму творчості людини (дитини). Автор не лише доводить важливість інженерної складової STEM, показує її відмінність від політехнічного навчання, а й дає методичні рекомендації стосовно її реалізації в педагогічній практиці. Цінним, на думку автора, є запропонований ним підхід до постановки винахідницьких задач та моніторингу результатів діяльності учнів.

Аналіз проблеми та пропозиції стосовно її розв'язання автор робить на основі власної педагогічної практики, передового педагогічного досвіду вчителів, а також на основі результатів виконуваних наукових досліджень. Цьому ж сприяє його робота в підготовці завдань для проведення Всеукраїнських турнірів юних винахідників і раціоналізаторів, а також Міжнародних конкурсів юних дослідників та винахідників «Едісони XXI століття». Участь у міжнародних наукових конференціях та систематичне проведення для вчителів європейських країн тематичних вебінарів дає змогу здійснювати апробацію пропонуваного підходу до запровадження STEM в педагогічну практику.

Ключові слова: STEM, освіта, розвиток, інженерія, інженерна складова.

Andrey Davidenko. Engineering Component of STEM

The article is devoted to the problem of using STEM approaches in education. In particular, it considers the engineering component of STEM.

The author's research is devoted to the study of the cognitive mechanism of human (child) creativity. The author not only proves the importance of the engineering component of STEM, shows its difference from polytechnic education, but also gives methodical recommendations regarding its implementation in pedagogical practice. In the author's opinion, the approach proposed by him to setting inventive tasks and monitoring the results of students' activities is valuable.

The author makes analysis of the problem and proposals for its solution based on his own pedagogical practice, advanced pedagogical experience of teachers, as well as on the basis of the results of scientific research. This is facilitated by his work in the preparation of tasks for the All-Ukrainian tournaments of young inventors and rationalizers, as well as the International competitions of young researchers and inventors «Edisons of the 21st century». Participation in international scientific conferences and the systematic holding of thematic webinars for teachers of European countries allows for the testing of proposed approaches to the introduction of STEM in pedagogical practice.

Key words: STEM, education, development, engineering, engineering component.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Дана стаття логічно пов'язується з попередньою статтею автора «Дослідницька складова STEM» [5] й доповнює його уявлення про те, що позначено цим акронімом. Звернувшись до «Букваря» STEM, можна ще раз впевнитись у тому, що цим акронімом позначено групу навчальних предметів (природничо-математичних), які належать до наукових [3]. Не ставлячись зневажливо до інших предметів, які позначені іншим акронімом HASS – гуманітарні науки, мистецтво та соціальні науки [2], не буде зайвим ще раз наголосити, що у витоках STEM лежить необхідність

привернути увагу майбутніх абітурієнтів до продовження подальшого навчання на спеціальностях *STEM*. Ці спеціальності лежать в основі розвитку науки та промисловості, завдяки чому здійснюється стабільний розвиток економіки.

Отож, якщо в згаданій статті автора здебільшого йдеться про науку та властиві їй методи, зокрема, метод спостереження, то далі буде обговорюватись проблема стосовно необхідності використання вже наявних та отримуваних знань для створення того нового, що й стане рушієм розвитку промисловості й економіки. Очевидно, що це належить до інженерії, що й позначено в акронімі *STEM* буквою *E*.

Аналіз основних досліджень і публікацій із зазначеної проблеми.

Розвиток освіти завжди супроводжувався певними новаціями, які вчителі повинні були запроваджувати в педагогічну практику. Проте варто сказати, що досить часто педагогічна наука залишалась осторонь реального освітнього процесу. Дивлячись на це очима вчителя, який упродовж тривалого часу навчав учнів фізики у закладах освіти, а також очима фахівця, який до цього часу продовжує викладати дидактику названого предмета в педагогічному університеті та обласному інституті післядипломної педагогічної освіти, спробую знайти причину такої відірваності теорії від практики.

По-перше, значна частина тем дисертацій не відповідає запитам педагогічної практики. Причина може полягати в тому, що аспірант або здобувач наукового ступеня не працював у закладі освіти, і тому не уявляє реальні запити освітнього процесу в названому навчальному закладі.

По-друге, не завжди спрацьовує механізм впровадження отриманих здобувачем результатів свого наукового дослідження в педагогічну практику. Заклад освіти завжди виконує поставлені перед нею завдання суспільством та державою, що може не збігатися з методичними рекомендаціями дослідника. Тим більше якщо він вивчає досить віддалені від педагогічної практики проблеми.

Звичайно, вивченням передового педагогічного досвіду, впровадженням новацій в освітній процес у закладах освіти займаються обласні інститути післядипломної педагогічної освіти. Тому, в першу чергу, науковець повинен звертатись до їх відповідних працівників. При цьому, необхідно буде провести з ними роботу стосовно очікуваних результатів, показати можливі ризики тощо. Далі повинна йти вже сумісна робота із вчителями, які погодяться з даною пропозицією або ж відмовляться від неї. Все це разом не дозволило певній частині новацій реалізуватись у закладі освіти.

Хоча ми маємо приклади широкого впровадження в освітній процес результатів дослідження. Ними є методика розвитку творчих здібностей учнів. Значну роль у цьому випадку відіграли потреби суспільства у розвитку промисловості, а також належний рівень забезпечення вчителів відповідною, досить простою для розуміння вчителем методичною літературою [1].

Якщо ж здійснити аналіз публікацій стосовно впровадження в освітній процес *STEM*, то, на думку автора, враження складається дещо інше. В основних джерелах, якими декларувалось це впровадження з відповідною його аргументацією, викладено чітко розуміння цієї проблеми й окреслено основні напрямки її розв'язання. Тут же містяться чіткі межі між навчальними предметами та напрямками (спеціальностями) навчання у вищих навчальних закладах [2; 3]. Власний аналіз необхідності запровадження *STEM* автор зробив у згаданій вище своїй статті [5]. Проте організаторами освіти деяких країн було зроблено значний відступ від того, що мали на увазі ініціатори започаткування *STEM*. Наприклад, трансдисциплінарність досить часто редукується до широко відомих міжпредметних зв'язків. Не обійшлося і без традиційних на цей час закликів стосовно необхідності формування на заняттях із природничих предметів лідерських якостей... Акронім *STEM* почав обростати додатковими буквами, які набували різноманітної інтерпретації [4; 5].

Звичайно, на це не могли не звернути увагу відповідні фахівці. У наукових журналах розпочалась критика вільної інтерпретації *STEM*, що суперечить самій його ідеї та необхідності запровадження в освітній процес з природничих предметів. Яскравим прикладом критики такого «вільного» поводження зі *STEM* є стаття директора дослідницького центру неформальної освіти (CREI) Національного музею науки і техніки Леонардо да Вінчі в Мілані (Італія) Марії Ксантудакі «From STEM to STEAM (education): a necessary change or 'the theory of whatever'?» [4]. Вона звертає увагу та те, що *STEM* стає «теорією чого завгодно» й пропонує повернутися до його (*STEM*) основ. Тут же, з властивою їй образністю у виразах та красою викладу, вона наголошує: «Остерігайтесь скорочень!». Абревіатури, пише вона, можуть бути небезпечними <... >, вони швидкі, але через це часто стають порожніми та безглуздими словами, чим завгодно [4].

Розпорядженням від 5 серпня 2020 року №960-р Кабінетом міністрів України була схвалена «Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти)», яким зроблено наголос на тому, що *STEM* має відношення лише до природничо-математичних дисциплін [6].

Мета статті. Розкрити поняття «Інженерія», що позначено буквою *E* у розглядуваному акронімі *STEM*. Показати, чим воно відрізняється від традиційного ознайомлення учнів та студентів з уже відомими технічними пристроями та технологіями, що передбачено політехнічним навчанням, а також запропонувати можливі підходи до його реалізації під час освітнього процесу в сучасному закладі освіти.

Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

Позначена буквою *E* в акронімі *STEM* «Інженерія» має не менш важливе значення, ніж те, що закладено в слово «Науки», яке позначене буквою *S* [3; 5]. Без інженерії науки залишались би лише засобом пізнання Світу. Проте людина має ще потреби в одязі, транспорті, засобах зв'язку тощо. І все це людиною створюється самостійно на основі наукових знань. Для кращого розуміння останнього звернімося до конкретного прикладу.

19 лютого 1878 року американський винахідник і підприємець Томас Едісон отримав патент на *graphophone* – фонограф, пристрій, за допомогою якого можна було записувати та відтворювати звук. На фотознімку (рис. 1), який автор статті зробив з дозволу адміністрації Науково-технічного музею, що розташований у м. Ясси (Румунія), зображено промислові зразки названого пристрою, які було виготовлено Американською грамофонною компанією у 1897 році.



Рис. 1. Фонографи Томаса Едісона

Джерело: авторська фотографія

Від названого пристрою почався розвиток усієї записувальної та відтворювальної звукової апаратури (грамофонів, магнітофонів, музичних плеєрів...). Едісоном було запатентовано конкретний пристрій, але покладений в його основу принцип до цього часу зберігається у всій сучасній аналогічній апаратурі. Змінюється (удосконалюються) лише способи запису фонограм, накопичувачі даних та пристрої для відтворення та підсилення звуку. Спробуймо уявити, що ми лише володіли знаннями про природу акустичних коливань і, навіть, про можливість їх записування на демонстраційному рівні (згадаймо всім відомий дослід із записування коливань ніжки камертона на закопченому склі), але не брались за створення згаданого вище фонографу. Ось цим і займається інженерія, яка в акронімі *STEM* позначена буквою *E*. Ще раз звернімо увагу на те, що науковий (дослідницький) складник відображений в ньому буквою *S* [5].

Варто згадати, що в освіті вже було політехнічне навчання, яким вважали ознайомлення учнів та студентів із вже готовими пристроями та технологіями, формування вміння застосовувати отримані фізико-технічні знання у повсякденному житті та майбутній виробничій діяльності. Для нього

розроблялось відповідне демонстраційне обладнання, наприклад, моделі конвеєрних ліній, приладів, що забезпечують автоматизацію виробничих процесів тощо.

Окрім згаданого політехнічного навчання, педагогічна практика позитивно сприйняла й пропозиції стосовно запровадження в освітній процес фізико-технічного моделювання.

Згодом в освітній процес почали запроваджувати творчі задачі, розв'язування яких було орієнтовано на розвиток творчих здібностей учнів [7]. Цікаво, що у вітчизняній педагогіці більше зверталась увага на можливий розвиток здібностей людини, а не на результат використання цих потенційних здібностей.

Позитивні результати участі окремих учнів у відповідних конкурсах показувало ефективність такої роботи. У 1998 році було започатковано щорічне проведення Всеукраїнського турніру юних винахідників і раціоналізаторів (ВТЮВіР), а згодом і Всеукраїнського конкурсу юних дослідників та винахідників «Едісони XXI століття» (для учнів 5-9 класів). Вчителі та учні забезпечувались відповідною методичною літературою. Цьому ж сприяли й випуски журналів «Юний технік», «Моделіст-конструктор», а в січні 2022 року в Україні було засновано електронний журнал «Наука і техніка сьогодні». Сьогодні доступними для учнів та вчителів є електронні ресурси.

Проте певні процеси, які відбувались в системі освіти, зокрема підходи до оцінювання навчальних досягнень учнів у вигляді тестування, змінили ставлення як вчителів, так і значну частину учнів до їх творчої діяльності. У 2024 році вже не проводився ВТЮВіР, а конкурс «Едісони XXI століття» став міжнародним з оргкомітетом в одній із європейських країн.

Водночас слід відзначити, що цей напрямок діяльності залишається важливим для країн, які дбають про розвиток економіки шляхом власного виробництва, й тому він є важливою складовою *STEM*.

Як фахівець, який займається цією проблемою досить давно й пройшов шлях від шкільного вчителя фізики до захисту докторської дисертації на тему «Теоретичні та методичні засади розвитку творчих здібностей учнів у процесі навчання фізики», як винахідник, як голова журі ВТЮВіР та Міжнародного конкурсу «Едісони XXI століття», пропоную звернути увагу на відмінності між традиційним ознайомленням із вже наявними технічними пристроями та технологіями, що передбачено згаданим вище політехнічним навчанням, та творчою (винахідницькою та раціоналізаторською) діяльністю, що властиве інженерній складовій *STEM*. Для цього достатньо звернутись до формулювання запитань, на які очікується відповідь учня під час моніторингу результатів його навчальних досягнень.

Традиційне запитання під час оцінювання досягнень учнів: «Де це явище використовується на практиці?» відповідає запиту знаннєвого підходу до освітнього процесу. Воно дійсно має сенс тоді, коли контролюються знання: учень має відтворити те, про що він дізнався з розповіді вчителя, прочитаного параграфу підручника або інших носіїв інформації. Як вже легко зрозуміти, це характерне для політехнічного навчання.

Проте постановкою запитання у такому вигляді ми формуємо в учня настанову, яка не спонукає його до пошуків нового. Ми привчаємо учня бачити світ таким, який він вже є, як такий, що не потребує ніякого розвитку. Іншими словами, ми пропонуємо учню дивитись назад, та фіксувати сьогодишнє, але не спонукаємо його заглядати у майбутнє, яке завтра стане сьогодишнім, а сьогодишнє стане минулим. Очевидно, що такий суто знаннєвий підхід у навчанні не сприяє формуванню в учнів психологічної настанови на творчу діяльність.

Для розвитку та реалізації творчих здібностей учнів у них необхідно формувати настанову на пошуки можливостей використання отриманих знань на практиці, зокрема для створення нових технічних пристроїв та технологій. Звідси виходить, що запитання під час оцінювання досягнень учнів з фізики доцільно було б формулювати так, щоб він міг не лише повідомити вчителю про вже відоме застосування певного явища на практиці, а й показав своє бачення можливого застосування його у нових пристроях чи технологіях. Для цього достатньо лише замінити запитання: «Розкажіть, де це явище використовується на практиці?» на вимогу «Запропонуйте, де можна це явище використати на практиці?». Цілком зрозуміло, що вираз «де можна використати» передбачає ознайомлення з тим, що вже створено на основі цих знань. Водночас у цьому ж виразі є приховане слово «ще», яким передбачається діяльність учня стосовно створення відмінного від вже наявного, тобто нового.

Як же інженерну складову реалізувати у закладі середньої освіти?

Зрозуміло, що починати слід з простого, можна з раціоналізаторських пропозицій, які полягають не у створенні оригінального продукту, а з удосконалення вже готового. Неабияке значення має те, щоб учні відчували користь від своєї діяльності. Нижче наводиться приклад удосконалення сонячного годинника. Розмітка шкали його квадранта відображає розпорядок дня учня (рис. 2). Чи може байдужим залишитись хоча б один учень сільського ліцею, що на Чернігівщині, де *STEM*-підходи в освітньому процесі реалізує вчитель Юрій Красновид? Разом з учнями він розробив оригінальні прилади для демонстраційного експерименту з фізики, а шестикласниця Аліна Кускал отримала Бронзову медаль на I Міжнародному конкурсі юних дослідників та винахідників «Едісони XXI століття» (рис. 3).

Не маючи достатнього життєвого досвіду, учні не завжди можуть виявити суперечності, що з'являються між елементами певних систем, що могло б привести до формулювання задачі стосовно її усунення. Найближчим стосовно цього є для них освітній процес та побут. Саме тому їх слід орієнтувати на удосконалення наявних та створення нових технічних пристроїв, які б допомагали їм у навчанні та розв'язанні проблем побуту. Хоча досить часто проблеми повинен ставити сам вчитель.

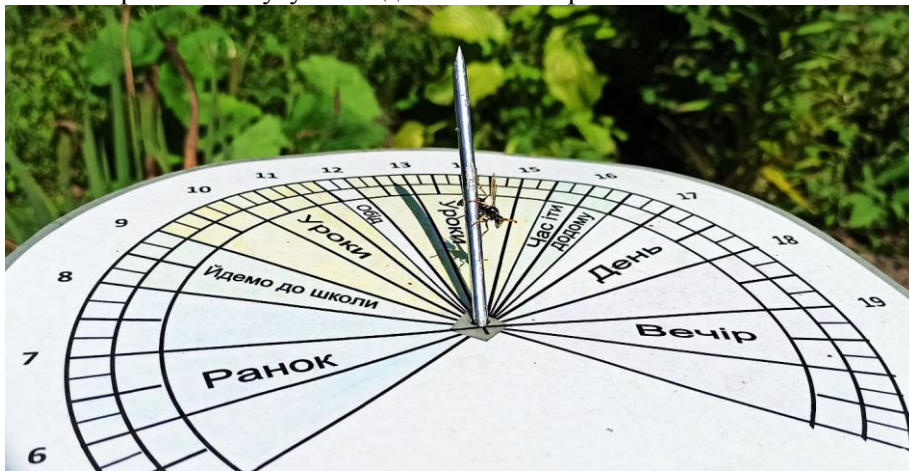


Рис.2. Сонячний годинник, зі шкалою повідомлень

Джерело: авторська фотографія

На їх основі й формулюються умови задач, які пропонуються для розв'язування учням.

У методичних посібниках автора міститься багато винахідницьких задач та ідей для виконання творчих (винахідницьких) *STEM*-проектів [1]. Значна частина з них супроводжується підказками і розв'язаннями. Разом автором розроблено понад 700 винахідницьких та раціоналізаторських задач, які використовувались під час проведення ВТЮВіР та інших конкурсних заходів.

Нижче наведені приклади декількох таких задач. Їх постановку та розв'язування можна здійснювати як під час проведення навчальних занять у закладі освіти (на уроках фізики або ж технічної праці), так і в позаурочній роботі. В останньому випадку розв'язання таких задач може перетворитись у виконання довготермінових навчальних проєктів творчого змісту [1].

Задача 1. «Заміна електроламп». Заміна електроламп, які розташовані високо під стелею, операція нескладна, але потребує розкладної драбини, столу, стільця тощо, що пов'язано з певними незручностями. Запропонуйте простий та безпечний пристрій, який замінив би цокольні електролампи, стоячи безпосередньо на підлозі.

Задача 2. «Незамкнені двері». Трапляються випадки, коли, виходячи з дому, людина забуває замкнути вхідні двері. Запропонуйте пристрій або ж спосіб, які повідомляли б людину про те, що двері залишилися незамкненими.

Задача 3. «Сонячна запальничка». Не описуючи ситуації, в яких може виникнути необхідність у розведенні багаття без сірників або ж уже відомих запальничок, пропонуємо вам створити пристрій такого ж призначення, за допомогою якого можна було б досить швидко, наприклад, упродовж хвилини підпалити шматок паперу, сухої кори тощо за рахунок енергії Сонця.

Задача 4. «Енергія спускання з гори». Кожна людина знає, що рухаючись дорогою вгору, вона стомлюється більше, ніж під час руху горизонтально. З точки зору фізики рух вгору потребує від людини більших витрат її власної енергії. При цьому частина цієї енергії перетворюється у потенціальну енергію тіла людини, яку вона втрачає при наступному русі вниз (йдучи з гори). Проте, коли дорога йде вниз, людина знову витрачає свою енергію – вона витрачає на стримування руху (людина пригальмовує. Створіть пристрій, який би дав змогу людині йти вниз без пригальмовування та водночас перетворював частину її потенціальної енергії в електроенергію.



Рис. 3. Посвідчення на Бронзову медаль Міжнародного конкурсу «Едісони XXI століття»
Джерело: авторська фотографія

Задача 5. «Значні зусилля». Відомі технічні пристрої, як дозволяють людині створити значні зусилля: гідравлічний прес, гідравлічний, пневматичний та механічний домкрати тощо. Запропонуйте оригінальний пристрій, наприклад, прес, який би дозволяв створювати значні зусилля на основі інших фізичних явищ, законів і принципів, відмінних від тих, що використовуються у згаданих вище пристроях.

Задача 6. «Зарядження акумулятора». Туристи, що подорожують пішки далеко від населених пунктів, досить часто відчують потребу у підзарядці акумуляторів мобільних телефонів, годинників, фотоапаратів тощо. Запропонуйте простий пристрій, який би виробляв достатню кількість електроенергії для задоволення названих потреб туристів. Використання сонячних панелей у цьому випадку пропонувати не можна.

Задача 7. «Холодильник». До винайдення сучасних холодильників деякі продукти харчування зберігали в погребях. Для того щоб температура в них була низькою, в них розміщували масивні шматки льоду, які взимку заготовляли на озерах. Щоб температура питної води, яку пили під час роботи в полі або на луках, була нижчої температури повітря, її тримали у дерев'яних бочках або ж у глиняному посуді. Є перекази про те, що в бочці з питною водою тримали озерні жаби...

Проаналізуйте описані варіанти «народних» холодильників та запропонуйте ефективний пристрій або ж спосіб аналогічного призначення, власної конструкції. Розв'язання з використанням ланцюжка: сонячна панель, акумулятор та відомі на сьогодні охолоджувальні пристрої, до яких належать і напівпровідникові прилади з використанням ефекту Пельтьє, прийматись не будуть.

Після ознайомлення з умовами наведених прикладів задач може скластись враження про їхню простоту. Але таким людям мені хочеться запропонувати розв'язати хоча б одну з них...

А ця простота має приховану складність.

По-перше, учням доведеться здійснити патентний пошук, тобто ознайомитись з технічними розв'язаннями цієї задачі (винаходами), які вже зроблені іншими людьми (пошук аналогів). Потім серед них вибрати той, який за змістом найближчий до того, що пропонує учень (обрання прототипу).

Завершитесь розв'язання складанням формули винаходу, у якій мають бути показані відмінності між прототипом та винаходом учня.

По-друге, слід зважити на те, що простота винаходу досить часто є надзвичайно цінною. На фотознімку (рис. 4) зображена шайба Гровера (названа в честь її винахідника). Чи є хоча б один більш-менш складний механізм, у різьбових кріпленнях якого вона б не використовувалась? Скільки їх у механізмах автомобілів, літаків?



Рис. 4. Шайба Гровера

Джерело: авторська фотографія

Досить цінним виявився винахід кулькової ручки. А складається вона лише з трубки, у торці якої розміщена кулька.

Розвиток техніки здійснюється від простого до складного, що вже було показано вище, коли ми згадували фонограф Томаса Едісона. І цим слід користатись під час реалізації інженерної складової *STEM*. Не варто відразу винаходити електронно-обчислювальну машину. Їй передувала рахівниці, арифмометр, логарифмічна лінійка та інші обчислювальні пристрої.

Висновки роботи і перспективи подальших досліджень у визначеному напрямі. Як бачимо, інженерна складова *STEM* є обов'язковим компонентом реалізації цього підходу в освітньому процесі з природничих дисциплін. Без нього втрачається те, що було задумано для привернення уваги учнів до оволодіння змістом програм названих предметів, адже навчання без демонстрування цінності одержуваних знань не сприяє розвитку ні самої людини, ні промисловості, яка б сприяла розвитку економіки.

В статті доводиться не лише важливість інженерної складової *STEM*, її відмінність від політехнічного навчання, а й даються окремі методичні рекомендації стосовно її реалізації в педагогічній практиці. Цінним, на думку автора, є запропонований ним підхід до постановки винахідницьких задач та моніторингу результатів діяльності учнів.

Починаючи з 2019 року автор проводить курси підвищення кваліфікації для вчителів-природничників Чернігівської області, Республіки Молдова та Румунії на тему «Підготовка вчителя природничих дисциплін до надання допомоги учням у виконанні навчальних та наукових проєктів (*STEM*-освіта)». Для цього розроблені відповідні мультимедійні дидактичні засоби, тематика навчальних проєктів тощо. За необхідності такі курси можна проводити для вчителів інших областей України.

Подальші дослідження автора орієнтовані на пізнання механізму творчості людини (дитини). Вже зібрано певна кількість матеріалів, яка дає можливість порівняти механізми інженерної творчості та художньої (мистецької).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Davidenko A., Bocancea V. Proiecte STEM/STEAM la fizica. Ghid metodic. Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova, Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare, Universitatea Pedagogică de Stat «Ion Creangă». Chișinău: S. n., 2022 (CEP UPSC). 62 p. URL: <https://opac.hasdeu.md/cgi-bin/koha/opac-ISBDdetail.pl?biblionumber=361958>
2. General Education: Core & Humanities, Arts and Social Sciences (HASS) 24 credits required: 12 credits from Core & 12 credits from HASS 2018-2019. URL: <https://www.mtu.edu/registrar/pdfs/core-and-hass-list-18-19-v2.pdf>.
3. Gonzalez H. B., Kuenzi J. J. Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: A Primer. URL: <https://sgp.fas.org/crs/misc/R42642.pdf>.
4. Xanthoudaki M. From STEM to STEAM (education): a necessary change or 'the theory of whatever'? Spokes, No, 28. march 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/315893720_From_STEM_to_STEAM_education_A_necessary_change_or_'the_theory_of_whatever'.
5. Давиденко А. А. Дослідницька складова STEM. Нові технології навчання: збірник наукових праць. ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти». Київ, 2023. Вип. 97. 157 с. С. 51-57. URL: <https://doi.org/10.52256/2710-3560.97.2023.97.06>
6. Концепція розвитку природничо-математичної освіти (STEM-освіти). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-p/print#n8>
7. Кременський Б. Г. Теорія і практика роботи з інтелектуально обдарованою учнівською і студентською молоддю з фізики : монографія / Київ: Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова, 2011. 421 с.

REFERENCES

1. Davidenko A., Bocancea V. Proiecte STEM/STEAM la fizica. Ghid metodic. Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova, Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare, Universitatea Pedagogică de Stat «Ion Creangă». Chișinău: S. n., 2022 (CEP UPSC). 62p. URL: <https://opac.hasdeu.md/cgi-bin/koha/opac-ISBDdetail.pl?biblionumber=361958>. [in Romanian].
2. General Education: Core & Humanities, Arts and Social Sciences (HASS) 24 credits required: 12 credits from Core & 12 credits from HASS 2018-2019. URL: <https://www.mtu.edu/registrar/pdfs/core-and-hass-list-18-19-v2.pdf>. [in English].
3. Gonzalez H. B., Kuenzi J. J. Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: A Primer. URL: <https://sgp.fas.org/crs/misc/R42642.pdf>. [in English].
4. Xanthoudaki M. From STEM to STEAM (education): a necessary change or 'the theory of whatever'? Spokes, No, 28. march 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/315893720_From_STEM_to_STEAM_education_A_necessary_change_or_'the_theory_of_whatever'. [in English].
5. Davidenko A. A. Doslidnyts'ka skladova STEM. Novi tekhnolohiyi navchannya: zbirnyk naukovykh prats'. DNU «Instytut modernizatsiyi zmistu osvity». Kyiv, 2023. Vyp. 97. 157 s. S.51–57. URL: <https://doi.org/10.52256/2710-3560.97.2023.97.06> [in Ukrainian].
6. Kontseptsiya rozvytku pryrodnycho-matematychnoyi osvity (STEM-osvity). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/960-2020-r/print#n8>. [in Ukrainian].
7. Kremins'kyy B. H. Teoriya i praktyka roboty z intelektual'no obdarovanoyu uchniv's'koyu i student-s'koyu moloddyu z fizyky : monohrafiya / K. : Nats. ped. un-t im. M. P. Drahomanova., 2011. 421 s. [in Ukrainian].

Матеріал надійшов до редакції 05.07.2024