

О. С. Кузьменко
О. Ю. Засенко
Є. А. Шаповалов

АКСІОМАТИКО-ДЕДУКТИВНА СИСТЕМА ОНТОЛОГІЙ НА ЗАСАДАХ STEM-ОСВІТИ

Анотація. У статті розглядається методика навчання фізики на основі STEM-технологій, що охоплює інтеграцію науки, технологій, інженерії та математики в освітній процес. Особливу увагу приділено створенню аксіоматико-дедуктивної системи онтологій на засадах STEM, яка є основою для структурування й формалізації знань з фізики. Така система забезпечує логічну взаємодію між основними фізичними поняттями, законами та процесами, даючи змогу створити чітку і зрозумілу картину для здобувачів освіти, що важливо для глибшого розуміння наукової картини світу. Розкрито поняття моделі та онтологічної моделі, що є фундаментальними для побудови STEM-підходу в навчанні фізики. Онтологія дозволяє ефективно організувати знання у вигляді набору взаємопов'язаних об'єктів і понять, що допомагає суб'єктам навчання краще орієнтуватися у складних теоретичних концепціях з фізики і застосовувати їх на практиці. Одним з важливих аспектів методики є використання сучасних цифрових STEM-комплектів, таких як Pasco та Phywe, а також робототехнічних комплектів, що дають змогу здійснювати інтерактивне навчання через експерименти і практичні завдання. Ці комплекти забезпечують можливість вивчення фізичних законів у реальному часі, проведення досліджень з допомогою сучасних інструментів вимірювання й аналізу, що сприяє розвитку практичних навичок у здобувачів освіти. Використання таких технологій дозволяє створити динамічне й мотивувальне середовище для навчання, в якому суб'єкти навчання можуть самостійно здійснювати дослідження, перевіряти теоретичні знання і знаходити практичні застосування отриманим знанням з фізики. Впровадження STEM-технологій характеризується інтеграцією різних дисциплін, що сприяє розвитку у здобувачів освіти критичного мислення, аналітичних здібностей та навичок розв'язання складних задач. Застосування робототехнічних комплектів сприяє розвитку у здобувачів освіти навичок програмування, інженерії та математики, що є важливими компонентами STEM-освіти. Апробація запропонованої методики засвідчила її високу ефективність у процесі навчання фізики на засадах STEM. Результати експериментів свідчать про підвищення якості засвоєння матеріалу здобувачами освіти, збільшення їхнього інтересу до науки і розвитку soft skills. Використання цифрових та робототехнічних комплектів значно підвищує мотивацію здобувачів освіти до вивчення фізики, сприяє формуванню глибших і стійкіших знань.

Ключові слова: онтології, STEM, фізика, освітній процес, трансдисциплінарний аспект.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Освіта в епоху Четвертої промислової революції є рушієм суспільного розвитку. Отже, освіта набуває статусу провідного інституту щодо реалізації послідовної державної політики, спрямованої на активізацію інноваційних процесів, зокрема цифровізації, впровадженні STEM-технологій, розвитку штучного інтелекту, що зацікавить здобувачів освіти до вивчення фізико-технічних, інженерних дисциплін у закладах вищої освіти (далі – ЗВО).

Зважаючи на технологічний характер розвитку, оперування знаннями з фізики та інформаційних технологій на основі віртуального моделювання (використання

STEM-технологій, робототехнічних комплектів, елементів віртуального експерименту, 3D-друк, цифрові STEM-комплекти та ін.) є фундаментом використання дефініції наскрізного генерувального характеру на основі STEM-технологій.

Мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні аксіоматико-дедуктивної системи онтологій навчання фізики та інформатики на засадах STEM-освіти.

Об'єктом дослідження є процес моделювання й розроблення аксіоматико-дедуктивної системи онтологій (далі – АДСО) для навчання фізики за вимогами трансдисциплінарного методологічного підходу.

Предметом дослідження є моделювання, симуляції, онтоорієнтовані інформаційні системи для навчання фізики у ЗВО в умовах трансдисциплінарного підходу.

Концепція дослідження полягає в тому, що створення АДСО з фізики є фундаментом для подальшого формування у фахівців нового покоління особистісних та професійних якостей, а також готовності до відповідного виду фахової діяльності з урахуванням сучасних тенденцій розвитку STEM-освіти.

Провідна ідея дослідження полягає у твердженні, що формування й розвиток STEM-skills у майбутніх фахівців технічного та інженерного напрямку у процесі навчання фізики в АДСО ґрунтується на засадах фундаменталізації, трансдисциплінарності, які забезпечують у суб'єктів навчання готовність до вирішення навчальних завдань, що потрібні для їхньої підготовки з професійного напрямку навчання.

Теоретична значущість очікуваних результатів: 1) проведення теоретичного і логіко-методологічного аналізу проблеми застосування онтологій у навчанні фізики та інформатики на засадах STEM-освіти; 2) створення й обґрунтування АДСО навчання фізики та інформатики; 3) розроблення методики навчання фізики з використанням цифрових STEM-комплектів.

Практична значущість очікуваних результатів полягає у впровадженні в освітній процес АДСО навчання фізики на засадах STEM-освіти; апробації та проведенні педагогічного експерименту щодо ефективності запропонованої АДСО.

У розглядуваному дослідженні були використані такі *методи*: системний і порівняльний аналіз для обґрунтування актуальності та постановки наукового завдання щодо впровадження системи АДСО; для розроблення й упровадження онтологій навчання фізики в контексті STEM-освіти застосовуються методи теорії множин, відношень та формальних систем, що дають змогу створювати онтоорієнтовані бази знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання окресленої проблеми. Наразі найбільш поширеними й популярними є кілька моделей подання знань, розроблених у межах емпіричного підходу, що ґрунтується на аналізі принципів організації пам'яті учасників навчального процесу для моделювання механізмів розв'язування задач на засадах STEM-освіти.

Продукційні моделі передбачають подання знань як набору фактів і правил, де основою є продукція (правило) IF <умова> THEN <дія>. Під «умовою» розуміють шаблон, за яким здійснюється пошук у базі знань, а під «дією» – операції, які виконуються після успішного знаходження відповідності.

Фреймові моделі подання знань – це гнучка структура даних для опису стереотипних ситуацій, які можна представити через сукупність понять і сутностей.

Логічні моделі подання знань структурують інформацію у вигляді формул логіки предикатів першого порядку. Тож основою цієї моделі є формальна система, що має вигляд: $M = \langle T, P, A, B \rangle$ (T – множина базових мовних елементів, P – множина синтаксичних правил, A – множина аксіом, B – множина правил виведення).

Семантичні мережі – це орієнтовані графи (наприклад, вершини представляють поняття, факти чи об'єкти), а дуги відображають відношення між ними.

Мережні моделі описують такими формульними позначеннями: $H = \langle I, C_1, C_2, \dots, C_n, G \rangle$ (I – множина інформаційних одиниць; C_1, C_2, \dots, C_n – множина типів зв'язків між інформаційними одиницями; G – відображення, що розкриває інформаційні одиниці, які входять у I). Зазначимо, що спільною ознакою всіх семантичних мереж є декларативне графічне подання (зокрема, фізичних явищ, процесів тощо), яке можна використовувати для представлення знань або створення автоматизованих систем прийняття рішень на основі цих знань.

Структурну специфікацію знань у деякій предметній області розглядають в онтологічній моделі як формалізоване подання, що містить структурований словник термінів предметної області та логічні вирази, які описують відношення між ними.

В умовах цифровізації автори поділяють думку Гомес-Пересена щодо дефініції онтологічного інжинірингу: «процес розробки онтологій включає дії, пов'язані з їхнім життєвим циклом, методами та методологіями створення, а також наборами інструментів і мов, що їх підтримують» [1]. У науковому дослідженні N. Guarino [2] здійснено порівняльний аналіз дефініції «онтологія» в контексті філософії та штучного інтелекту, виявлено їхні спільні та відмінні ознаки.

Онтологія класичної механіки розглянута Hwelk Zhang, M. Y. Choi у [3], на основі якої пропонується онтологія формулюється динамічною теорією, що є важливим аспектом для розгляду процесів руху для визначення дефініцій з фізики, професійно орієнтованих дисциплін технічного та інженерного профілів. Запропонована авторська онтологія містить два процеси щодо окреслення концепції «стану» та об'єднання простору, положення, імпульсу в єдине ціле за допомогою перетворень Фур'є. Тож відповідно до цієї онтології припущення з квантової механіки (квантовий стан, простір Гільберта і самоспряжені оператори) виводяться дуже легко.

Отже, порівнюючи поняття онтології з фізико-математичними та технічними науками, нами виявлено міждисциплінарні ознаки, що є вагомим аспектом для розкриття особливостей застосування онтологій в освітньому процесі ЗВО. До таких віднесемо: ієрархічність, концептуалізацію, структурування, сумісне використання; застосування онтологій як знаньових структур STEM-освіти, що допоможуть передбачити спрямованість розвитку дійсності.

Враховуючи сучасні тенденції розвитку інноваційної парадигми освіти та основні напрями вдосконалення освітнього процесу ЗВО, створена АДСО (рис. 1) навчання фізики, що орієнтована на принципи аксіоматики [4] на засадах STEM-освіти, яка спрямована на ефективне ознайомлення здобувачів освіти з організацією метадисциплінарності логіко-семантичного ядра онтологій.

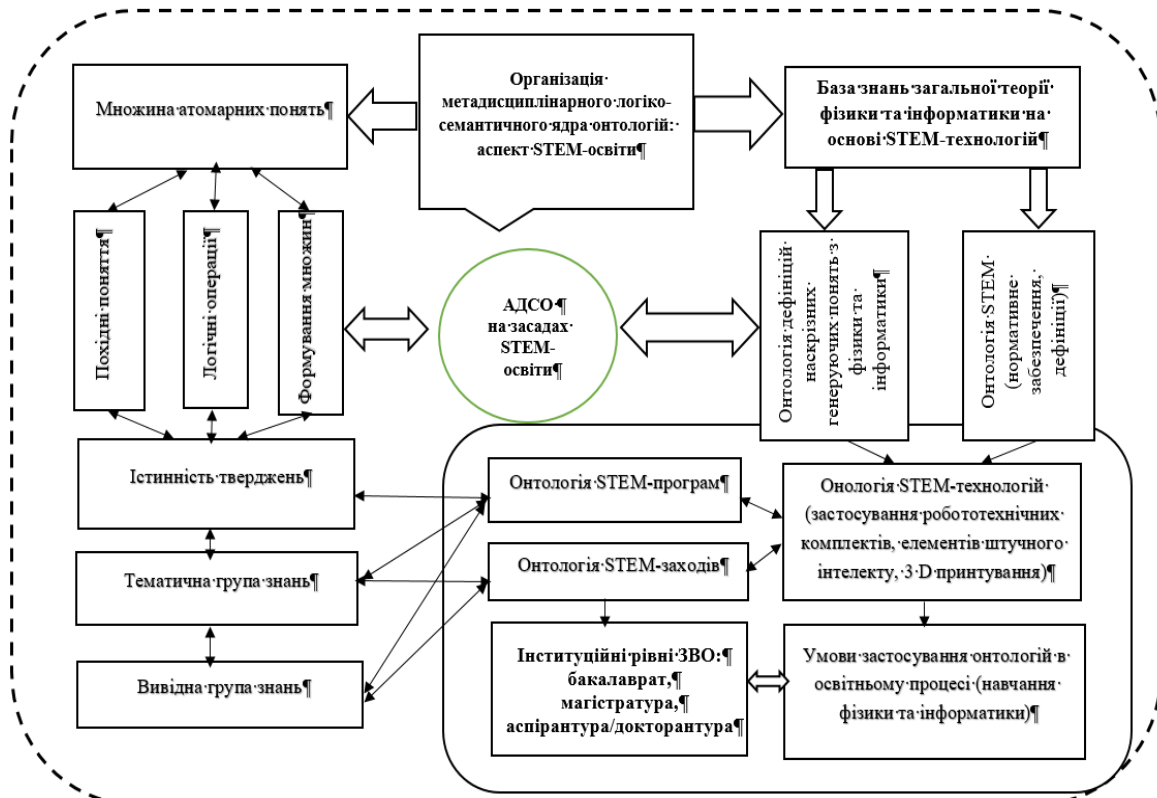


Рис. 1. Модель аксіоматико-дедуктивної системи онтологій на засадах STEM-освіти

Створення АДСО у навчанні фізики потрібне для подальшого вивчення дисциплін професійного напрямку з урахуванням прикладного аспекту (навчання інжинірингу, радіоелектроніки, електротехніки, основ безпілотних літальних апаратів, робототехніки) та для якісного розроблення методики навчання цих дисциплін, враховуючи аспекти використання онтологій [5], що забезпечується навчальною діяльністю викладача, й активного залучення здобувачів освіти до самостійної навчально-пошукової діяльності. Це сприяє глибшому розумінню предмета і розвитку критичного мислення.

Тож АДСО має не лише забезпечувати якісне і науково обґрунтоване викладання змісту онтологій, а й активно стимулювати інтерес здобувачів освіти до пізнання й розуміння фізики в контексті STEM-освіти [6]. Це включає застосування знань для пояснення явищ та процесів як у мікросвіті, так і в навколишньому світі загалом. Також важливо надавати студентам ефективну систему знань, умінь та навичок, формуючи природничо-науковий світогляд і готуючи їх до ролі конкурентоспроможних фахівців нового покоління в умовах Індустрії 4.0.

Складові АДСО взаємопов'язані, органічно об'єднані та визначені загальними цілями освітнього процесу в ЗВО. Зміна характеристик цих складових впливає на якість інноваційного освітньо-наукового простору з урахуванням тенденцій STEM-освіти.

Запропонована нами структура АДСО на засадах STEM-освіти (рис. 1) залежить від психолого-педагогічних чинників її використання в освітньому процесі з фізики в умовах трансдисциплінарності [7], а саме:

1) формування мотивації навчання фізики на засадах STEM-освіти за умови повноцінного усвідомлення суб'єктом навчання мети експерименту (використання множини атомарних понять онтологій, категоріального апарату онтологій з фізики та інформатики, теорії множин і графів, віртуального експерименту, елементів робототехніки, безпілотних літальних апаратів, STEM-комплектів та ін.);

2) стимулювання пізнавально-пошукової діяльності здобувачів освіти у процесі вивчення фізики та інформатики засобами STEM-освіти (впровадження STEM-технологій, цифровізації тощо);

3) забезпечення відповідності дидактичним принципам наочності в аспекті способів та форм експериментального викладу навчального матеріалу на заняттях з фізики, що реалізуються за допомогою STEM-технологій в умовах трансдисциплінарності;

4) індивідуалізація процесу навчання фізики з використанням віртуального фізичного експерименту з технологіями STEM-освіти, а також принципів трансдисциплінарного та синергетичного підходів;

5) забезпечення відкритості у доборі STEM-інструментів для проведення фізичного експерименту;

6) створення й підтримка постійного зворотного зв'язку між суб'єктами навчання з метою мінімізації ймовірності помилок під час виконання робіт з фізичного практикуму з використанням STEM-технологій;

7) формування STEM-soft skills на основі використання STEM-засобів навчання, які спрямовані на розвиток логічного мислення у здобувачів вищої освіти.

Нами розроблено методику навчання фізики з урахуванням АДСО на засадах STEM-освіти, як приклад використання STEM-цифрових комплектів (компанії Pasco, Phywe та ін.).

Варто зазначити, що освітнє обладнання STEM, тобто комплекти з фізики, техніки, інженерії та математики (такі як «Механіка та статика», «3D-принтери», «Будівництво та виробничі процеси», «Робототехніка», «Енергетика», «Програмування та математика» тощо) надає німецька компанія Phywe.

Метою STEM є використання цифрових технологій і залучення здобувачів освіти до технічних професій, а також розвиток у них навичок міждисциплінарного і творчого мислення через вивчення фізико-математичних та інженерно-технічних предметів.

Важливим у наукових пропозиціях Phywe є набори TESS для експериментів, які легко об'єднуються із цифровими сенсорами Cobra SMARTsense. Розглянемо деякі з них:

1. Комплект «Mechanics 2.0» (рис. 2) [8] забезпечує вивчення механіки та основ будівельної техніки. Набір складається з 30 різних моделей, що допомагають виконувати експерименти з механічної та конструкторської інженерії, а також вивчати вплив сил на тіла, об'єкти. Цей набір спрощує вчителям викладання STEM-предметів у міждисциплінарному освітньому контексті.



Рис. 2. Комплект «Mechanics 2.0»

2. Комплект «3D-принтери» [9] від PHYWE містить добірку пристроїв, призначених для навчання в закладах технічної освіти з акцентом на STEM-концепцію. Наприклад, Snapmaker 3-in-1 (рис. 3) виконує 3D-друк, а також має лазерний модуль і фрезерний верстат, що дає змогу обробляти різні матеріали, зокрема дерево й акрил, а також здійснювати лазерне гравірування.

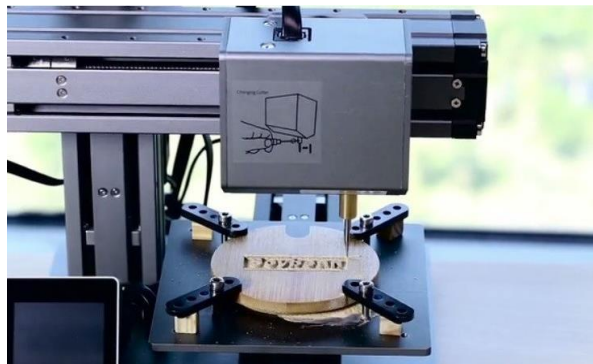


Рис. 3. Комплект «3D-принтери»

З допомогою принтера Snapmaker 3-in-1 здобувачі освіти можуть ознайомитися із сучасними виробничими процесами. Переваги 3D-принтера такі: висока точність; мінімальна товщина шару до 50 мікрметрів; зрозуміле програмне забезпечення, сумісне з Cura, Simplify 3D та Slic3r; надійний корпус з високоякісного алюмінію; зручний сенсорний екран.

3. У комплекті «Будівництво та виробничі процеси» [9] пропонуються цікаві набори для підготовки інженерів. Серед них варто виокремити комплект «STEM Engineering, fischertechnik» (рис. 4). Цей STEM-комплект акцентує увагу на фізичних принципах, електроніці, енергетичних технологіях та електроенергії, відповідаючи

стандартам ISTE та ITEEA, і надає студентам можливість глибше вивчити ключові аспекти науки, технологій та інженерії.



Рис. 4. Комплект «STEM Engineering, fischertechnik»

Комплект складається з 890 компонентів, які розподілені по двом сортувальним ящикам, а також містить інструкції для створення 22 моделей. Основні напрями для вивчення з допомогою цього набору: робототехніка, кібернетика, мехатроніка, автоматизація, механічні системи, системи управління та сенсорні системи, двигуни тощо.

4. У комплекті «Робототехніка» наявний TI-Innovator Hub (рис. 5), який передає команди з графічних калькуляторів здобувачів освіти для управління роботом Rover. Цей пристрій також можна використовувати окремо від Rover, що дає змогу суб'єктам навчання розвивати базові навички програмування і дизайну, а також створювати проєкти в галузі STEM та інженерії. У комплект входить плата TI LaunchPad [10]. Переваги цього комплекту полягають у можливості програмування мовою Basic, а також у наявності додаткових наборів, які забезпечують розширену функціональність вводу / виводу та вивчення основ електроніки.



Рис. 5. Комплект «Робототехніка»

5. Комплект «Енергія» [11] містить набір TESS Advanced Applied Sciences Basic Set (рис. 6) з основ енергетики та теплової енергії, що надає можливість провести 17 експериментів за такими напрямками: 1) конверсія енергії (п'ять експериментів); 2) тепла енергія сонячного випромінювання (сім експериментів); 3) навколишнє тепло (п'ять експериментів).



Рис. 6. Комплект TESS Advanced Applied Sciences Basic Set

Основні переваги цього комплекту: 1) обладнання зберігається в надійній, штабельній та компактній упаковці; 2) усі теми відповідають міжнародній навчальній програмі розвитку STEM-освіти; 3) забезпечується міждисциплінарний підхід до навчання; 4) застосовується інтерактивна експериментальна методика з використанням interTESS; 5) разом із двома додатковими компонентами буде реалізовано понад 30 додаткових експериментів, що охоплюють технології сонячної, вітрової, водної енергії та паливних елементів.

6. Комплект «Програмування та математика» забезпечує ефективний метод візуалізації кодової системи через графічне програмування, що формує базу для розуміння програмних концепцій. Здобувачі освіти ознайомлюються з текстовими мовами програмування, починаючи з Java, і врешті-решт переходять до C++. Компанія Phyuwe надає широкий асортимент інструментів та пристроїв для спеціалізованого навчання в галузі програмування.

7. Комплект «STEM-Set/electricity, electronics, energy, power» [12] (рис. 7) орієнтований на вивчення електроніки, енергії та електричної енергії відповідно до стандартів ISTE та ITEEA. У складі набору представлені такі теми: розкриття поняття енергії, системи перетворення енергії, механізми перетворення та зберігання енергії, взаємодія людини і машини, основи робототехнічних датчиків, а також системи цифрового зв'язку та програмування.



Рис. 7. Комплект STEM-Set/electricity, electronics, energy, power

8. Комплект «DOBOT Robotic arm (3D print, gripping, writing, suction)» (рис. 8) [13] являє собою багатофункціональний робочий стіл, на якому розташована

роботизована рука. Завдяки різноманітним кінцевим інструментам, ця рука може виконувати промислові функції, такі як 3D-друк, лазерна гравіровка, написання й малювання. Пристрій підтримує вторинні розробки через 13 розширюваних інтерфейсів і більше 20 мов програмування, що стимулює креативність здобувачів освіти у сфері інженерії та технічного навчання.



Рис. 8. Комплект «DOBOT Robotic arm (3D print, gripping, writing, suction)»

Серед основних переваг комплекту можна виокремити такі: 1) висока точність (0,2 мм); 2) можливість використання головок інструментів для різних цілей, таких як 3D-друк, вибір і розміщення, запис та малювання; 3) перша роботизована рука, здатна виконувати 3D-друк; 4) легкість у використанні – окрім сценаріїв на Python, доступне графічне середовище програмування, що дає змогу створювати коди шляхом простого перетягування блоків. Роботом керують крокові двигуни, а затискач може утримувати або відпускати об'єкти. Захват функціонує на стисненому повітрі, яке генерується зовнішнім модулем, що входить до комплекту. Компресор можна підімкнути до задньої частини руків'я робота; з'єднується із захватом через невелику трубку.

Вищезазначені цифрові STEM-комплекти демонструють практичний підхід, заснований на дослідженнях, що підтверджують ефективність викладання для покращення розуміння основних фізичних понять. У методиці викладання фізики, розробленій на основі STEM-освіти, моделі використовують для лекційних демонстрацій і проведення фізичних практикумів.

Отже, виокремлено основні принципи використання комп'ютерних моделей на заняттях з фізики в АДСО на основі STEM-освіти: 1) модель фізичного явища слід використовувати, коли немає можливості провести експеримент або коли явище відбувається занадто швидко для детального спостереження; 2) комп'ютерна модель має допомагати зрозуміти деталі досліджуваного явища або виконувати роль ілюстрації умови задачі, що пропонується для розв'язання; 3) у результаті роботи з моделлю фізичного явища, установки, процесу чи обладнання здобувачі освіти мають виявити як якісні, так і кількісні залежності між величинами, що характеризують це явище в аспекті трансдисциплінарності; 4) під час роботи з моделлю необхідно

пропонувати суб'єктам навчання завдання різних рівнів складності з використанням STEM-технологій.

Окреслимо деякі аспекти щодо впровадження робототехнічних комплектів у процесі розроблення методики навчання фізики на засадах STEM [14, 15]:

1. Роботів створюють з урахуванням принципів STEM, з оптимізованою механічною конструкцією, рамою та формою, що забезпечують ефективне виконання конкретних завдань. Наприклад, робот, призначений для подолання складного рельєфу або болотистої місцевості, може бути обладнаний інноваційними гусеничними траками. Механічний дизайн інтегрує інженерні, математичні та технологічні рішення, спрямовані на адаптацію до фізичних умов довкілля і підвищення функціональності в різних сценаріях.

2. Роботи містять електричні компоненти, які забезпечують живлення та контроль роботи, що є невід'ємною складовою STEM-технологій. Наприклад, робот із гусеничним приводом потребує відповідного джерела енергії для переміщення, яку зазвичай постачає батарея через електричний ланцюг. Електрична енергія проходить через провідники, активуючи двигуни й датчики. Навіть машини з бензиновими двигунами, які переважно працюють на паливі, потребують електричного струму для запуску процесу згоряння. Тож більшість таких систем, як автомобілі, оснащені батареями.

Електрична складова роботів виконує три основні функції: рух (електродвигуни забезпечують переміщення), зондування (електричні сигнали використовують для отримання даних про тепло, звук, положення чи енергетичний стан), виконання завдань (електроенергія живить ключові елементи – мотори й сенсори, необхідні для активації та реалізації основних операцій).

Отже, електричні компоненти інтегрують інженерні, технологічні та математичні підходи, забезпечуючи ефективне функціонування роботів у контексті STEM.

3. Роботи також мають програмне забезпечення, яке визначає їхню здатність приймати рішення і виконувати дії, що є ключовим елементом STEM-технологій. Програма виконує роль «мозку» робота, вирішуючи, коли і як виконувати завдання. Наприклад, робот на гусеничному приводі, призначений для пересування по брудній дорозі, навіть за наявності оптимальної механічної конструкції та достатньої енергії від батареї не зможе функціонувати без програмного забезпечення, яке задає алгоритми руху. Програмне забезпечення інтегрує: опрацювання даних (використання інформації від сенсорів для аналізу середовища), прийняття рішень (визначення оптимальної стратегії для виконання завдань), управління компонентами (координація роботи двигунів, сенсорів та інших елементів).

Ця програмна складова забезпечує роботам автономність, адаптивність і здатність до вирішення складних завдань з вивчення фізико-математичних та інженерно-технічних дисциплін, що відповідає сучасним вимогам STEM-напрямів.

Програмне забезпечення є центральним компонентом роботів [16], безпосередньо впливаючи на їхню ефективність, що робить його критично важливим у контексті STEM-технологій. Навіть за наявності передової механічної та електричної

конструкції некваліфіковано розроблена програма може суттєво знизити продуктивність робота. У робототехніці окреслюють три основні підходи до програмування: дистанційне керування (RC), штучний інтелект (AI) та гібридне програмування. Розглянемо ці підходи:

- дистанційне керування (RC) – роботи запрограмовані для виконання заздалегідь визначених команд, які активуються лише після отримання сигналу від людини за допомогою пульта. Цей тип програмування дає змогу здійснювати безпосереднє управління роботами, забезпечуючи точність дій;

- штучний інтелект (AI) – роботи зі штучним інтелектом здатні автономно взаємодіяти з навколишнім середовищем. Використовуючи алгоритми машинного навчання, вони аналізують інформацію, приймають рішення і виконують дії без втручання людини. Це забезпечує роботам адаптивність та автономність;

- гібридне програмування – поєднання можливості дистанційного керування та штучного інтелекту, що дає роботам змогу працювати як в автономному режимі, так і під контролем оператора. Такий підхід надає високу гнучкість і універсальність.

У сучасній робототехніці, орієнтованій на принципи STEM [16], роботів дедалі частіше проєктують для виконання специфічних завдань, що робить класифікацію за функціональним призначенням надзвичайно важливою. Наприклад:

- складальні роботи – призначені для виконання операцій у виробничих процесах, оптимізовані для завдань монтажу. Механічна, електрична і програмна складові таких роботів тісно пов'язані з конкретними виробничими циклами, що ускладнює адаптацію до інших сценаріїв;

- зварювальні роботи – інтегровані системи, що складаються зі зварювального обладнання, пристроїв для обробки матеріалів (наприклад, верстати) і маніпуляторів. Хоча маніпулятори можуть бути переналаштовані, система спроектована з урахуванням точності й автоматизації процесів, які ґрунтуються на математичних і технічних алгоритмах;

- важкі роботи – розроблені для маніпуляцій з великими навантаженнями; застосовують інженерні та фізичні розрахунки для забезпечення міцності, стабільності та продуктивності в умовах інтенсивного використання.

Отже, зазначені роботи демонструють інтеграцію науки, технологій, інженерії та математики, яка забезпечує високу ефективність, точність та інноваційність у вирішенні вузькоспеціалізованих завдань. Це сприяє вдосконаленню виробничих процесів і є ключовим аспектом у розвитку STEM-орієнтованих галузей.

Вивчення руху роботів можна поділити на кінематику та динаміку. Пряма кінематика – це розрахунок кінцевої позиції ефектора, орієнтації, швидкості та прискорення, коли відповідні спільні значення відомі. Зворотна кінематика означає протилежний випадок, коли потрібні спільні значення розраховують для заданих кінцевих ефекторних значень, як це зроблено при плануванні шляху. Деякі специфічні аспекти кінематики охоплюють обробку надмірності (різноманітні способи виконання

одного й того самого руху), запобігання зіткненням та уникнення сингулярностей. Після того, як усі відповідні положення, швидкості та прискорення були обчислені за допомогою кінематики, для аналізу впливу сил на ці рухи застосовують методи динаміки. Пряма динаміка стосується обчислення прискорень у процесі роботи, коли відомі прикладені сили. Цей підхід використовують у комп'ютерному моделюванні роботів. Зворотна динаміка, своєю чергою, пов'язана з розрахунком сил, які необхідні для досягнення заданого прискорення.

Для того щоб здобувачі освіти набули STEM-навичок, доцільно застосовувати сучасні засоби навчання, до яких належить і робототехніка, що передбачає:

- ознайомлення здобувачів освіти з основами сучасної робототехніки;
- створення умов для розвитку теоретичних і практичних навичок проектування та конструювання елементів простих робототехнічних систем;
- удосконалення навичок графічного програмування та програмування робототехнічних платформ;
- вивчення і впровадження методики інтеграції елементів освітньої робототехніки в навчання інших предметів (інтегрований підхід та міжпредметні зв'язки);
- дослідження методичних аспектів підготовки здобувачів освіти до участі в різноманітних робототехнічних заходах: олімпіадах, конкурсах, турнірах, фестивалях, марафонах тощо;
- забезпечення можливості використання робототехнічних систем у науково-дослідницькій діяльності здобувачів освіти у ЗВО.

Конструктивно-технічна діяльність здобувачів освіти і заняття робототехнікою в контексті STEM-освіти сприяють:

- поглибленню спеціалізованих знань – забезпечують ефективне засвоєння матеріалу за фахом, формують здатність чітко й переконливо аргументувати свої думки, використовуючи відомі закони фізики та додаткові джерела інформації;
- розвитку інженерного мислення – тобто аналітичному підходу до вирішення завдань, винахідливості, зацікавленості у глибокому вивченні принципів конструювання і досконалому знанні радіоелектронних компонентів та засобів робототехніки;
- формуванню навичок прийняття рішень – допомагають виробляти вміння враховувати всі можливі фактори при ухваленні рішень, стимулюють інтерес до вивчення технологій виробництва і розуміння можливостей сучасних технологічних процесів;
- розвитку технічної та математичної грамотності – заохочують до використання сучасної обчислювальної техніки, опанування математичного апарату, а також стимулюють прагнення до створення інноваційних ідей та проєктів.

Зазначена діяльність інтегрує науковий, технологічний, інженерний і математичний підходи, формуючи у здобувачів освіти компетенції, необхідні для вирішення складних завдань у STEM-сфері.

Отже, ефективність розробленої АДСО фізики на засадах STEM-освіти була підтверджена експертною оцінкою АДСО під час розрахунку: 1) показника узагальненої думки через знаходження середнього арифметичного значення, дисперсії, середнього квадратичного відхилення, коефіцієнта варіації; 2) ступеня погодженості думок експертів щодо значущості вимог до АДСО – розрахунком коефіцієнта конкордації, а саме: онтології STEM-програм ($W = 0,045$); бази знань загальної теорії фізики та інформатики на основі STEM-технологій ($W = 0,056$); множини атомарних понять ($W = 0,0157$); онтології STEM-технологій ($W = 0,31$); 3) ступеня погодженості думок експертів – через коефіцієнт конкордації до значущості кожної з вимог: середнє значення коефіцієнта ступеня ознайомлення $K_a = 0,86$, коефіцієнта аргументованості $K_a = 0,89$ і компетентності експертів $K_a = 0,91$.

Висновки і перспективи подальших розвідок у досліджуваному напрямі.

Проведено теоретичний та логіко-методологічний аналіз проблеми застосування онтологій у навчанні фізики та інформатики на засадах STEM-освіти; обґрунтовано і створено АДСО на засадах STEM як фундаментального фактору для навчання здобувачів освіти і підготовки фахівців покоління *next generation*; розроблено й апробовано методику навчання фізики з використанням цифрових STEM-платформ. АДСО і методика навчання фізики були апробовані у Вінницькому університеті внутрішніх справ та Національному центрі «Мала академія наук України», де було зазначено їхню ефективність і надано позитивну оцінку експертів-фахівців.

Виконане дослідження не вичерпує всіх аспектів питання. Перспективи подальших пошуків ми вбачаємо в обґрунтуванні й розробленні ЕСО-середовища онтоорієнтованих систем на основі STREAM-технологій.

Список використаних джерел

1. Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Corcho O. *Ontological engineering*. London: Springer-Verlag. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1007/b97353>. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/b97353>.
2. Guarino N. *Formal Ontology and Information Systems*. In: *Formal Ontology in Information Systems. Proceedings of FOIS'98*, by N. Guarino (ed.). Trento. Italy, Amsterdam, IOS-Press, 1998. Pp. 3–15. URL: https://www.researchgate.net/publication/272169039_Formal_Ontologies_and_Information_Systems (дата звернення: 19.11.2024).
3. Hwe Ik Zhang, M. Y. Choi. *Ontological Revision and Quantum Mechanics*. *Results in Physics*. 2022. Volume 33, February 2022, 105159. URL: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022ResPh..3305159Z/abstract> (дата звернення: 19.11.2024).
4. Cassinelli G., Lahti P. *An Axiomatic Basis for Quantum Mechanics*. *Found Phys*, 2016. Volume 46, 1341–1373. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10701-016-0022-y>.
5. Kuzmenko O., Dembitska S., Miastkovska M., Savchenko I., Demianenko V. *Onto-oriented Information Systems for Teaching Physics and Technical Disciplines by STEM-environment*. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 2023. Volume 13. Issue 2. Pp. 139–146. DOI: <https://doi.org/10.3991/ijep.v13i2.36245>.
6. Darmawansah D., Hwang G.-J., Chen M.-R. A. et al. *Trends and research foci of robotics-based STEM education: a systematic review from diverse angles based on the technology-based learning model*. *IJ STEM Ed* 10, 2023. Volume 12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00400-3>.

7. O. Kuzmenko, M. Rostoka, Y. Topolnik, P. Vasyuchenko. Transdisciplinarity of vocational education in the context of STEM-teaching of physics. *ICERI2021 Proceedings*. 2021. Pp. 3711–3721. DOI: 10.21125/iceri.2021.0891.
8. Mechanics 2.0. URL: <https://www.phywe.com/physics/mechanics/> (дата звернення: 19.11.2024).
9. 3D printer snapmaker (3-in-1): 3D print, laser, CNC. URL: <https://www.phywe.com/search/?query=3D+printer+snapmaker+%283-in-1%29%3A+3D+print%2C+laser%2C+CNC> (дата звернення: 19.11.2024).
10. TI-Innovator Hub, Texas Instruments. URL: <https://www.phywe.com/search/?query=TI-Innovator+Hub%2C+Texas+Instruments> (дата звернення: 19.11.2024).
11. TESS advanced Applied Sciences Basic Set Renewable Energy basics and thermal energy. URL: <https://www.phywe.com/search/?query=TESS+advanced+Applied+Sciences+Basic+Set+Renewable+Energy+basics+and+thermal+energy.> (дата звернення: 19.11.2024).
12. STEM-Set /electricity, electronics, energy, power. URL: <https://www.phywe.com/search/?query=STEM-Set+%2Felectricity%2C+electronics%2C+energy%2C+power>; <https://www.phywe.com/en/mint-set-elektronik-steuerung-und-sensorik.html> (дата звернення: 19.11.2024).
13. DOBOT Robotic arm (3D print, gripping, writing, suction). URL: <https://www.phywe.com/search/?query=DOBOT+Robotic+arm+%283D+print%2C+gripping%2C+writing%2C+suction%29> (дата звернення: 19.11.2024).
14. Y. Sun, C. H. Chang, F. K. Chiang. When life science meets educational robotics: a study of students' problem solving process in a primary school. *Educ. Technol. Soc.*, 2022. Volume 25. Pp. 166–178, 10.30191/ETS.202201_25(1).0013.
15. M. A. Conde, F. J. Rodríguez-Sedano, C. Fernández-Llamas, J. Gonçalves, J. Lima, F. J. García-Peñalvo. Fostering STEAM through challenge-based learning, robotics, and physical devices: a systematic mapping literature review. *Comput. Appl. Eng. Educ.*, 2021. Volume 21. Issue 1. Pp. 46–65. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85092710911&origin=inward&txGid=644e067c1a6534c40002500b7cbd2ab2> (дата звернення: 19.11.2024).
16. C. P. Gatica-Videla, I. N. Ilufi-Aguilera, M. I. Fuentealba-Cruz. Autoconfianza de los estudiantes de técnico en enfermería a partir de una experiencia clínica simulada. "Self-confidence of nursing technician students from a simulated clinical experience". *Formación universitaria*, 2021. Volume 14. Issue 5. Pp. 155–162. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85116926111&origin=inward&txGid=708f449b4a6423ffeb31aef881c635a9> (дата звернення: 19.11.2024).

References

1. Gomez-Perez, A., Fernandez-Lopez, M., Corcho, O. (2004). *Ontological engineering*. London: Springer-Verlag. DOI: <https://doi.org/10.1007/b97353>. Retrieved from <https://link.springer.com/book/10.1007/b97353>.
2. Guarino, N. (1998). *Formal Ontology and Information Systems*. In: *Formal Ontology in Information Systems*. Proceedings of FOIS'98, by N. Guarino (ed.). Trento. Italy, Amsterdam, IOS-Press, Pp. 3–15. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/272169039_Formal_Ontologies_and_Information_Systems.
3. Zhang, Hwe Ik, Choi, M. Y. (2022). Ontological Revision and Quantum Mechanics. *Results in Physics*. Volume 33, February 2022, 105159. Retrieved from <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2022ResPh..3305159Z/abstract>.
4. Cassinelli, G., Lahti, P. (2016). An Axiomatic Basis for Quantum Mechanics. *Found Phys*, Volume 46, 1341–1373. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10701-016-0022-y>.
5. Kuzmenko, O., Dembitska, S., Miastkovska, M., Savchenko, I., Demianenko, V. (2023). Onto-oriented Information Systems for Teaching Physics and Technical Disciplines by STEM-environment. *International Journal of Engineering Pedagogy*, Volume 13. Issue 2. Pp. 139–146. DOI: <https://doi.org/10.3991/ijep.v13i2.36245>.

6. Darmawansah, D., Hwang, G.-J., Chen, M.-R. A. et al. (2023). Trends and research foci of robotics-based STEM education: a systematic review from diverse angles based on the technology-based learning model. *IJ STEM Ed* 10, Volume 12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00400-3>.
7. Kuzmenko, O., Rostoka, M., Topolnik, Y., Vasyuchenko, P. (2021). Transdisciplinarity of vocational education in the context of STEM-teaching of physics. *ICERI2021 Proceedings*. Pp. 3711–3721. DOI: 10.21125/iceri.2021.0891.
8. Mechanics 2.0. Retrieved from <https://www.phywe.com/physics/mechanics/>.
9. 3D printer snapmaker (3-in-1): 3D print, laser, CNC. Retrieved from <https://www.phywe.com/search/?query=3D+printer+snapmaker+%283-in-1%29%3A+3D+print%2C+laser%2C+CNC>.
10. TI-Innovator Hub, Texas Instruments. Retrieved from <https://www.phywe.com/search/?query=TI-Innovator+Hub%2C+Texas+Instruments>
11. TESS advanced Applied Sciences Basic Set Renewable Energy basics and thermal energy. Retrieved from <https://www.phywe.com/search/?query=TESS+advanced+Applied+Sciences+Basic+Set+Renewable+Energy+basics+and+thermal+energy.+>
12. STEM-Set /electricity, electronics, energy, power. Retrieved from <https://www.phywe.com/search/?query=STEM-Set+%2Felectricity%2C+electronics%2C+energy%2C+power>. Retrieved from <https://www.phywe.com/en/mint-set-elektronik-steuerung-und-sensorik.html>.
13. DOBOT Robotic arm (3D print, gripping, writing, suction). Retrieved from <https://www.phywe.com/search/?query=DOBOT+Robotic+arm+%283D+print%2C+gripping%2C+writing%2C+suction%29>.
14. Sun, Y., Chang, C. H., Chiang, F. K. (2022). When life science meets educational robotics: a study of students' problem solving process in a primary school. *Educ. Technol. Soc.* Volume 25, pp. 166–178. Retrieved from 10.30191/ETS.202201_25(1).0013.
15. Conde, M. A., Rodríguez-Sedano, F. J., Fernández-Llamas, C., Gonçalves, J., Lima, J., García-Peñalvo, F. J. (2021). Fostering STEAM through challenge-based learning, robotics, and physical devices: a systematic mapping literature review. *Comput. Appl. Eng. Educ.* Volume 21. Issue 1. Pp. 46–65. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85092710911&origin=inward&txGid=644e067c1a6534c40002500b7cbd2ab2>.
16. Gatica-Videla, C. P., Ilufi-Aguilera, I. N., Fuentealba-Cruz, M. I. (2021). Autoconfianza de los estudiantes de técnico en enfermería a partir de una experiencia clínica simulada. "Self-confidence of nursing technician students from a simulated clinical experience". *Formación universitaria*. Vol. 14. Issue 5. Pp. 155–162. Retrieved from <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85116926111&origin=inward&txGid=708f449b4a6423ffeb31aef881c635a9>.

O. S. Kuzmenko,
O. Yu. Zasenkov,
Ye. A. Shapovalov

AXIOMATIC-DEDUCTIVE SYSTEM OF ONTOLOGIES BASED ON STEM EDUCATION

Abstract. *The article discusses the methodology of teaching physics based on STEM technologies, which includes the integration of science, technology, engineering and mathematics into the educational process. Particular attention is paid to the creation of an actomatics-deductive system of ontologies based on STEM, which is the basis for structuring and formalizing physics knowledge. Such a system provides a logical interaction between basic physical concepts, laws and processes, allowing to create a clear and understandable picture for students, which is important for a deeper understanding of the scientific picture of the world. The concepts of "model" and "ontological model", which are fundamental for building a STEM approach to teaching physics, are revealed. The ontology allows to effectively organize knowledge in the form of a set of interrelated objects and concepts, which helps learners to better navigate complex theoretical concepts in physics and apply them in practice. One of the important aspects of the methodology is the use of modern digital STEM kits, such as Pasco and Phewer, as well as robotics kits that allow for interactive learning through experiments and practical tasks. These kits provide an opportunity to study physical laws*

in real time, conduct research using modern measurement and analysis tools, which contributes to the development of practical skills of students. The use of such technologies allows to create a dynamic and motivating learning environment in which students can independently conduct research, test theoretical knowledge and find practical applications of the acquired knowledge in physics. The peculiarity of implementing STEM technologies is the integration of different disciplines, which creates opportunities for students to develop critical thinking, analysis and complex problem solving. The use of robotics kits contributes to the development of programming, engineering and mathematics skills in students, which are important components of STEM education. The testing of the proposed methodology has shown its high efficiency in the process of teaching physics based on STEM. The results of the experiments indicate an improvement in the quality of learning by students, an increase in their interest in science and the development of soft skills. The use of digital and robotic kits significantly increases the motivation of students to study physics and contributes to the formation of deeper and more sustainable knowledge.

Keywords: *ontology, STEM, physics, educational process, transdisciplinary aspect.*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Кузьменко Ольга Степанівна — д. пед. наук, професор, учений секретар секретаріату Вченої ради, Донецький державний університет внутрішніх справ, м. Кропивницький; провідний науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання, Національний центр «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, Kuzimenko12@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4514-3032>

Засенко Олексій Юрійович — канд. екон. наук, науковий співробітник відділу створення та використання інтелектуальних мережних інструментів, Національний центр «Мала академія наук України» м. Київ, Україна, o.zasenko@icloud.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2943-3021>

Шаповалов Євген Анатолійович — канд. екон. наук, науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання, Національний центр «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, Evgeny.ukr@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-3759-3506>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuzmenko O. S. — D. Sc. in Pedagogy, Professor, Academic Secretary of the Academic Council, Donetsk State University of Internal Affairs, Kropyvnytskyi; Leading Researcher of the Department of Information and didactic modelling, National center “Junior academy of science of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, Kuzimenko12@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4514-3032>

Zasenko O. Yu. — PhD in Economic, researcher of the Department of creation and use of intelligent network tools, National center “Junior academy of science of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, o.zasenko@icloud.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2943-3021>

Shapovalov Ye. A. — PhD in Economic, researcher of the Department of Information and didactic modeling, of National center “Junior academy of science of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, Evgeny.ukr@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-3759-3506>

Стаття надійшла до редакції / Received 19.11.2024