Міністерство освіти і науки України

Бердянський державний педагогічний університет

Ігор БОГДАНОВ, Яна СИЧІКОВА, Сергій КОВАЧОВ

Теоретичні та методологічні засади підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства для продуктивної професійної діяльності

Бердянськ, 2024

Україна

УДК: 378.147:620.3-028.52

Б34

Рекомендовано до друку Вченою радою
Бердянського державного педагогічного університету
(протокол № 9 від 28.12.2023)

Рецензенти:

Анатолій І. ПОПОВ, старший науковий співробітник Інституту фізики твердого тіла Латвійського університету, доктор фізико-математичних наук, професор;

Жакип КАРІПБАЄВ, асоційований професор Євразійського національного університету імені Л. М. Гумільова (Казахстан), доктор PhD;

Ярослав ЖИДАЧЕВСЬКИЙ, професор кафедри фізики та методики навчання фізики Бердянського державного педагогічного університету, старший науковий співробітник Інституту фізики Польської академії наук, доктор технічних наук, старший науковий співробітник.

Б34 **Богданов І., Сичікова Я., Ковачов С.** Теоретичні та методологічні засади підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства для продуктивної професійної діяльності. Монографія. – К.: ФОП Самченко А. М., 2024. – 206 с.

ISBN 978-617-8413-09-5

Ця монографія розглядає актуальні питання винахідництва та патентування у сфері нанотехнологій, які стають дедалі важливішими в контексті глобальних інновацій та технологічного розвитку. Праця включає глибокий аналіз патентних досліджень, джерел патентної інформації, та розглядає розвиток нанотехнологічної галузі в контексті сучасного законодавства. Автори зосереджуються на визначенні вартості прав на об'єкти інтелектуальної власності, пропонуючи методологію маркетингового та патентно-кон'юнктурного аналізу. Окрема увага приділяється оцінці майнових прав в контексті бухгалтерського обліку та визначенню справедливої ринкової вартості. Третій розділ монографії присвячений стандартизації в сфері нанотехнологій, включаючи ретроспективний огляд та сучасний стан стандартизації, а також перспективи розвитку законодавчої бази. Особливу увагу приділено ролі України в міжнародному контексті стандартизації та сертифікації нанотехнологій. Ця робота є цінним ресурсом для науковців, винахідників, юристів, економістів, а також студентів та аспірантів, які зацікавлені в питаннях винахідництва, патентування та комерціалізації в області нанотехнологій.

УДК: 378.147:620.3-028.52

ISBN 978-617-8413-09-5

© Богданов І., Сичікова Я., Ковачов С., 2024

Зміст

ВСТУП…… **5**

РОЗДІЛ 1. ФУНДАМЕНТАЛІЗАЦІЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ЯК ПЕДАГОГІЧНА ПРОБЛЕМА…….. **8**

1.1. Концептуальні засади підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної професійної діяльності…….. **8**

1.2. Професійна діяльність фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення наноструктур на поверхні напівпровідників…….. **16**

1.3. Професійна компетентність фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників…….. **25**

1.4. Сучасний стан підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріало-знавства: короткий огляд освітніх програм та шляхи покращення……... **36**

1.5. Модель контекстної системної фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства……. **50**

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНА СИСТЕМА СИСТЕМНОЇ ФУНДАМЕНТАЛІЗОВАНОЇ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА…… **57**

2.1. Моделі цілей та змісту системної фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства……. **57**

2.2. Моделі методів та дидактичних засобів методичної системи фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства…….. **64**

2.3 Модель методичної системи фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавств…… **80**

2.4 Загальні методичні рекомендації…….. **86**

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ПІДГОТОВКИ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА…… **92**

3.1. Формування готовності у майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства здійснювати вибір оптимальних рішень у синтезі наноструктур…….. **92**

3.2. Формування у майбутніх фахівців з наноматеріалознавства здатності модифікувати та адаптувати навчально-методичне та науково-методологічне забезпечення для провадження інноваційної діяльності…….. **105**

3.3. Бази даних та програмне забезпечення для підготовки фахівців в галузі наноматеріалознавства……. **111**

3.4 Метод продуктивного навчання майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства синтезу наноматеріалів…… **123**

3.5 Навчання майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства аналізу мікроскопічних зображень наноструктур…… **130**

3.6 Застосування інноваційних цифрових технологій при підготовці майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства до продуктивної професійної діяльності……... **149**

3.7 Цифрове біхронне навчання фахівців в галузі наноматеріалознавства під час війни в Україні……... **165**

3.8 Використання спеціалізованого програмного забезпечення та елементів штучного інтелекту при навчанні майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства в умовах дистанційного навчання…….. **177**

3.9 Наноосвіта на перехресті: як залучити українську молодь до нанотехнологічних спеціальностей?..... **193**

ВСТУП

Актуальність дослідження

Інтеграція України у міжнародний економічний та освітній простір посилює вимоги до національної системи вищої освіти щодо підготовки висококваліфікованих фахівців у галузі наноматеріалознавства. Ці фахівці повинні володіти здатністю практичного застосування новітніх наукових досягнень, бути здатними до творчого використання та створення інноваційних зразків матеріалів та технологій, а також ефективно реагувати на динамічні запити ринкової економіки.

У численних законодавчих актах України, включаючи Закон «Про освіту» (2017 р.), Указ Президента «Про стратегію сталого розвитку «Україна – 2020» (2015 р.), Закон «Про вищу освіту» (2014 р.), «Національну стратегію розвитку освіти України на період до 2021 року» (2013 р.) та постанову Кабінету Міністрів «Про затвердження Національної рамки кваліфікацій» (2011 р.), підкреслено необхідність модернізації системи професійної підготовки з акцентом на компетентнісний підхід, одним із ключових елементів якого є фундаменталізація освітнього процесу.

Для фахівців у галузі наноматеріалознавства, цей підхід є особливо актуальним у зв'язку з швидкими технологічними змінами та потребою у постійному оновленні знань та навичок. Галузь наноматеріалів вимагає глибокого розуміння фундаментальних наукових принципів, а також здатності до інновацій та розробки нових матеріалів і технологій. Така специфіка вимагає від фахівців не тільки володіння актуальними технічними знаннями, але й розвинених навичок самоосвіти та саморозвитку, щоб успішно адаптуватися до постійних змін у галузі.

Отже, розробка методичної системи фундаменталізованої професійної підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства відповідає сучасним вимогам та стандартам, забезпечуючи формування високої професійної компетентності, необхідної для ефективного виконання як традиційної, так і інноваційної діяльності у цій динамічній та перспективній галузі.

Концептуальна ідея цього дослідження полягає у розробленні методичної системи на основі контекстної (відповідно до кожного елементу змісту навчання) та системної (філософсько-природничо-математичної) фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Цей підхід передбачає забезпечення високої якості їхньої підготовки.

Концепція спрямована на трансформацію звичного, переважно репродуктивного характеру підготовки майбутніх фахівців у напрямку більш продуктивної та інноваційної діяльності. Вона базується на трьох ключових концептах: методологічному, теоретичному та методичному. Основна ідея концепції відображена у загальній гіпотезі дослідження, яка полягає у тому, що якість професійної підготовки майбутніх фахівців з наноматеріалознавства підвищиться за умови створення методичної системи, заснованої на контекстній системній фундаменталізації дисциплін цієї галузі.

Відповідно до загальної гіпотези дослідження, сформульовані часткові припущення, що підвищення якості підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства досягається через:

- Формування комплексної компетентності, яка включає проектну, технологічну, експлуатаційну та науково-дослідну складові, на основі фундаментальних філософсько-природничо-математичних та спеціалізованих знань галузі.
- Забезпечення змісту професійної підготовки, який базується на профілізованих загальнонаукових дисциплінах та контекстно-систематизованому змісті спеціалізованих дисциплін.
- Реалізацію методів та засобів навчання, які включають управління репродуктивною та продуктивною діяльністю студентів, спрямовану на освоєння, удосконалення та створення інноваційних наноматеріалів та технологій, з використанням фундаментальних знань.
- Застосування комплексного підходу до організації навчально-пізнавальної діяльності, який відповідає встановленим цілям, змісту, методам та засобам системної фундаменталізації професійної підготовки.

Таким чином, розробка методичної системи, орієнтованої на системну фундаменталізацію, відкриває шлях для формування комплексної професійної компетентності фахівців у галузі наноматеріалознавства, що є ключовим для ефективного виконання як традиційних, так і інноваційних завдань у цій динамічній галузі.

РОЗДІЛ 1

ФУНДАМЕНТАЛІЗАЦІЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ЯК ПЕДАГОГІЧНА ПРОБЛЕМА

1.1. Концептуальні засади підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної професійної діяльності

На сьогоднішній день розвиток нанотехнологій є пріоритетним напрямом економічної політики більшості країн світу, зокрема, України. У зв'язку з цим перед системою вищої освіти постає завдання підготовки компетентних фахівців у галузі наноматеріалознавства, здатних творчо застосовувати на практиці новітні досягнення сучасної науки, створювати та використовувати інноваційні наноматеріали і впроваджувати нанотехнології [1]. Однак підготовка таких висококваліфікованих спеціалістів в умовах традиційної системи освіти наразі пов'язана із низкою недоліків, основними з яких є: фрагментарний та несистемний характер професійної спрямованості, інтеграції й фундаменталізації змісту навчання, переважно репродуктивна навчально-пізнавальна діяльність студентів, спрямована на оволодіння вже існуючими нанотехнологіями, недостатність досвіду науково-дослідної продуктивної діяльності в лабораторіях із синтезу наноматеріалів і вивчення їх властивостей, і, як результат – недостатній рівень сформованості професійної компетентності фахівця у галузі нанотехнологій.

Подолати ці недоліки та підвищити якість підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної діяльності, на нашу думку, можливо шляхом розроблення відповідної методичної системи на засадах системної фундаменталізації та дуалізації навчання.

Проте, як показав аналіз досліджень, присвячених методиці навчання нанотехнологій майбутніх фахівців різних спеціальностей у закладах вищої педагогічної (С. Величко, Н. Валько, О. Завражна, Ю. Ткаченко, Г. Шойинбаєва, В. Шарощенко) та технічної (С. Даньшева, Т. Куценко, М. Михайлюк, Г. Подус, Д. Череднік) освіти, теоретико-методологічні засади розроблення методичної системи фундаменталізованої професійної підготовки до продуктивної професійної діяльності із синтезу інноваційних наноматеріалів є мало

розробленою проблемою, яка потребує нагального розв'язання.

На недостатню розробленість означеної проблеми також вказує і відсутність стандарту вищої освіти для спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали для другого (магістерського) рівня.

Підґрунтям для визначення концептуальних засад професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства є робота І. Бардус [2], в якій розроблено концепцію контекстної системної фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі інформаційних технологій, що після адаптації під відповідну предметну область була покладена в основу провідної ідеї та концепції підготовки майбутніх нанотехнологів; а також дослідження [3], в якому систематизовано існуючі наноматеріали, їх властивості та галузі використання, розроблено функціональну модель і методи синтезу наноматеріалів із заданими властивостями, що дозволило визначити теоретичні (природничо-математичні) засади розробки цілей, змісту, методів і засобів навчання цих фахівців.

Методологічне обґрунтування й розроблення методичної системи базується на фундаментальних категоріях, принципах і законах філософії, положеннях діалектико-матеріалістичного підходу, філософських положеннях принципу причинності, загальнонаукових методах пізнання (М. Бунге, В. Петрушенко, О. Сичивица, А. Спіркин, І. Фролов, С. Щерба, В. Шинкарук) та методологічних підходах: системному (С. Архангельський, Ю. Бабанський, В. Беспалько, Х. Броді, В. Гершунський, В. Загвязинський, Т. Ільїна, В. Краєвський, А. Кузнецова, С. Прокоф'єва, З. Решетова, А. Суббето), компетентнісному (А. Вербицький, І. Зимня, І. Зязюн, О. Овчарук, Д. Равен, В. Радкевич, А. Хуторський), діяльнісному (К. Абульханова-Славська, Г. Атанов, Л. Виготський, П. Гальперин, А. Леонтьєв, С. Рубинштейн, Н. Тализіна, В. Шадріков), інтегративному (В. Безрукова, О. Вознюк, С. Гончаренко, Р. Гуревич, І. Козловська), прогностичному (С. Батишев, Б. Гершунський, Р. Гуревич, А. Урсул), синергетичному (М. Богуславський, С. Гончаренко, Г. Дутка, В. Ігнатова, О. Князєва, І. Козловська, Г. Хакен, В. Шарко, О. Чалий).

Теоретичне обґрунтування й розроблення методичної системи фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі нанотехнологій до продуктивної професійної діяльності ґрунтується на філософських положеннях теорії пізнання (П. Алексеєв, А. Панин, А. Зотов,

В. Міронов, А. Разин), загальнонаукових положеннях системного підходу (І. Блауберг, А. Уйомов, Е. Юдин); психологічних положеннях теорії особистості, теорії творчості, моделей репрезентації знань (Дж. Андерсон, Л. Виготський, Я. Дитріх, Ф. Клікс, М. Лазарєв, О. Матюшкін, В. Моляко, А. Пайвіо, Я. Пономарьов, С. Рубінштейн, М. Холодна); педагогічних законах, закономірностях та принципах навчання (С. Архангельський, Ю. Бабанський, В. Беспалько, В. Бондар, В. Загвязинський, Я. Коменський, В. Краєвський, І. Лернер, І. Малафіїк, М. Махмутов, Н. Мойсеюк, В. Ортинський, І. Підласий, П. Підкасистий, М. Скаткин, В. Сластьонин, А. Хуторський).

Розробка концептуальних засад підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної професійної діяльності передбачає висвітлення стратегії розробки відповідної методичної системи. В цьому контексті визначимо концептуальну ідею та теоретико-методологічні засади розроблення цілей, змісту, методів, засобів та форм навчання цих фахівців продуктивної професійної діяльності.

На основі аналізу професійної діяльності, методів, технологій, властивостей та галузей застосування наноматеріалів, філософських, природничо-математичних і психологічних законів і теорій, нами визначено, що майбутній фахівець у галузі нанотехнологій має володіти сукупністю профілізованих філософських, природничо (фізико-хімічних)-математичних та фундаменталізованих галузевих знань, умінь, навичок і професійно важливих якостей. Їх формування обумовлює необхідність розроблення методичної системи професійної підготовки, яка б моделювала реальну професійну діяльність із синтезу інноваційних наноматеріалів на основі фундаментальних філософсько-природничо-математичних законів, теорій і категорій. Це забезпечується системною фундаменталізацію кожного елементу змісту професійно спрямованих дисциплін на основі філософсько-природничо-математичних законів, теорій і категорій, що є концептуальною ідеєю дослідження.

Контекстна системна інтеграція фундаментальних філософсько-природничо-математичних понять з поняттями професійно спрямованих дисциплін має забезпечуватися шляхом: конкретизації фундаментальних філософсько-природничо-математичних законів, теорій і понять під час опису наноматеріалів, їх властивостей і галузей застосування; теоретичного

обґрунтування структури, властивостей та можливих галузей застосування синтезованих студентами інноваційних зразків наноматеріалів на основі філософських, природничо-математичних законів, теорій і категорій.

Втілення означеної концептуальної ідеї під час розроблення методичної системи фундаментальної професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства нами реалізовано відповідно до зазначених вище методологічних підходів, філософських, природничо-математичних, психологічних та дидактичних законів та теорій.

Системний підхід обумовив необхідність розроблення методичної системи як цілісної структури взаємопов'язаних елементів. Структурно-системний підхід дозволив розробити узагальнені моделі навчальних понять професійно спрямованих дисциплін про базовий матеріал, наноматеріал, технологію синтезу, інструменти синтезу.

Застосування компетентнісного підходу при розробленні методичної системи забезпечує спрямованість усіх її елементів на формування в майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства професійних знань, умінь, навичок та професійно важливих якостей, необхідних для синтезу інноваційних наноматеріалів, визначення їх властивостей та галузей застосування.

Інтегративний підхід передбачає інтеграцію філософсько-природничо-математичних дисциплін з професійно спрямованими дисциплінами.

За положеннями діяльнісного підходу системна фундаменталізована професійна підготовка майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства забезпечує формування у студентів стійкої системи знань, умінь, навичок у процесі продуктивної навчально-пізнавальної діяльності.

Розроблення методичної системи на засадах прогностичного підходу забезпечує можливість навчання студентів прогнозувати властивості інноваційних наноматеріалів і можливості їх використання.

Застосування синергетичного підходу до розроблення методичної системи контекстної системної фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства обумовлює необхідність фундаменталізації професійно спрямованих дисциплін на основі тріади філософсько-природничо-математичних законів, теорій та категорій, що забезпечить підвищення якості оволодіння студентами продуктивною професійною діяльністю.

Теоретичне обґрунтування та розроблення методичної системи контекстної системної фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства потребує визначення її педагогічних засад, а саме: законів, закономірностей, принципів дидактики.

Застосування закону соціальної зумовленості цілей, змісту й методів навчання до розроблення методичної системи забезпечує необхідність врахування соціального замовлення на висококваліфікованих конкурентоспроможних фахівців у галузі наноматеріалознавства, здатних до репродуктивної та продуктивної діяльності із синтезу принципово нових зразків наноматеріалів, як системотвірної мети їхньої фундаменталізованої професійної підготовки. Усі елементи методичної системи повинні бути спрямовані на досягнення цієї мети.

Закон розвивального і виховного впливу навчання при розробленні методичної системи вказує на необхідність розроблення змісту, методів, дидактичних засобів та форм навчання, спрямованих на розвиток і виховання професійно важливих якостей фахівця у галузі наноматеріалознавства.

Згідно закону цілісності та єдності педагогічного процесу усі елементи методичної системи системної фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної діяльності повинні відповідати загальній меті та утворювати одне ціле. Зміни, які здійснюються з одним із елементів системи приводять до змін усіх інших. Елементи системи повинні бути узгоджені між собою.

Врахування закону взаємозв'язку і єдності теорії та практики у навчанні вказує на необхідність конкретизації та застосування наукових положень щодо синтезу інноваційних зразків наноматеріалів. Залучення студентів до науково-дослідної діяльності на практичних та лабораторних заняттях, при виконанні курсових і дипломних робіт дозволяє їм аналізувати, обґрунтовувати, узагальнювати, отримувати нові знання під час продуктивної навчальної-пізнавальної діяльності із синтезу існуючих та інноваційних зразків наноматеріалів, які вони зможуть використовувати у майбутній професійній діяльності.

Дидактичний закон активної діяльності вказує на необхідність організації продуктивної навчальної діяльності студентів, з метою забезпечення засвоєння ними теоретичних знань та ефективного формування практичних умінь, їх активності у пізнанні, праці, спілкуванні, саморозвитку. Така навчальна

продуктивна діяльність повинна здійснюватися за визначеною програмою на кожному етапі навчального процесу. Студенти повинні приймати активну участь у аналізі фактів, явищ, виявляти зв'язки та відношення між ними, усвідомлювати умову творчої задачі із синтезу наноматеріалів, дослідження їх властивостей і галузей застосування, визначати її мету, формулювати кінцеві та проміжні цілі у вирішенні задачі, формувати гіпотезу, пропонувати ідеї та рішення, виконування творчі завдання шляхом теоретичного обґрунтування та доказу гіпотези, перевіряти правильність отриманого рішення.

Застосування закону взаємозв'язку творчої самореалізації студента і освітнього середовища вказує на те, що всі елементи методичної системи: цілі, зміст, методи, засоби та форми навчання повинні бути підпорядковані програмі реалізації творчого потенціалу студента як майбутнього фахівця у галузі наноматеріалознавства. Обрана стратегія продуктивної навчальної діяльності повинна бути спрямована на підтримку індивідуального розвитку студента, його самореалізацію як творчої особистості, формування та розвитку творчих умінь і здібностей, творчої активності й наполегливості.

Закон взаємозв'язку і взаємообумовленості індивідуальної, групової і колективної навчальної діяльності вказує на те, що методична система повинна бути спрямована на підготовку такого фахівця у галузі наноматеріалознавства, який був би адаптований до ефективної діяльності у системі професійних стосунків, спроможний до організації науково-дослідного процесу, відповідальний за результат не лише власної, але і колективної діяльності.

Оскільки професійна підготовка майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства є самостійним педагогічним явищем, що перебуває у постійному розвитку, то їй властиві дидактичні закономірності цілей, змісту, методів, засобів та форм навчання.

Закони, закономірності й провідні педагогічні ідеї реалізуються через систему принципів навчання [4]. Вони визначають зміст, методи, організаційні форми, засоби відповідно до загальних цілей і закономірностей навчального процесу, забезпечують його ефективність [5].

1. Дидактичними принципами, які мають особливе значення для розроблення методичної системи системної фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної діяльності є:

2. принцип фундаментальності та професійної спрямованості навчання, який визначає необхідність навчання фундаментальних знань на основі практико орієнтованого відбору змісту освіти;
3. принципи зв'язку теорії з практикою, наступності змісту, науковості обумовлюють представлення навчальних понять про факти, ідеї, теорії, методики дослідження, наслідки й способи застосування в єдності фундаментальних законів і теорій та можливостей їх застосування у професійній діяльності;
4. принцип розвитку самостійності вказує на необхідність навчання студентів самостійного оволодіння новими знаннями та вміннями на основі фундаментальних загальнонаукових та галузевих знань у процесі продуктивної навчально-пізнавальної діяльності;
5. принцип систематичності та послідовності знань і вмінь обумовлює необхідність забезпечення систематичності і послідовності отримуваних знань і формування умінь у майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства;
6. принцип продуктивності навчання вказує на те, що методична система повинна забезпечити особистий освітній приріст студента, у вигляді системи знань, умінь та навиків, професійно важливих якостей, досвіду продуктивної діяльності, а також отримання інноваційних зразків наноматеріалів;
7. принцип усвідомленості та ґрунтовності знань вказує на необхідність формування у майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства фундаментальних загальнонаукових та галузевих знань як базису для забезпечення усвідомленості і ґрунтовності професійних знань.

Отже розроблення методичної системи на визначених методологічних, природничо-математичних, психологічних і педагогічних засадах дозволить забезпечити фундаментальність і системність професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі нанотехнологій до продуктивної інноваційної діяльності із синтезу наноматеріалів.

На основі аналізу розроблених нами методологічних та природничо-математичних і психолого-педагогічних концептуальних засад можна сформулювати провідні організаційно-педагогічні умови, дотримання яких при розробленні цілей, змісту, методів, засобів та форм навчання методичної системи

фундаментальної професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства забезпечить ефективність формування їхньої професійної компетентності виконувати продуктивну діяльність:

1. Системна фундаменталізація змісту навчання професійно спрямованих дисциплін на основі філософсько-природничо-математичних законів і категорій, які визначають властивості, склад, структуру та галузеве призначення наноматеріалу і технологію його синтезу. Це дозволить систематизувати і узагальнити знання майбутніх фахівців із величезної кількості існуючих типів наноматеріалів і технологій їх синтезу. Більш глибоке розуміння природи творення наноструктур дозволить студентам прогнозувати властивості й підбирати відповідні технології синтезу інноваційних наноматеріалів.
2. Переорієнтація навчально-пізнавальної діяльності студентів із теоретичної репродуктивної на продуктивну науково-дослідну в лабораторії на замовлення підприємств, у результаті якої вони набувають досвід реальної професійної діяльності із синтезу наноматеріалів, у тому числі інноваційних, визначення їх властивостей і галузей застосування, а також створення необхідного обладнання.

Література:

1. Suchikova Y., Bohdanov I., Kovachov S., Bardus I., Lazarenko A. and Shishkin G. *Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis*. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (August 26 – 28, 2021). Lviv. P.p. 584-588.
2. Бардус І. О. Фундаменталізація професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі інформаційних технологій до продуктивної діяльності: монографія. Харків: ПромАрт, 2018. 393 с.
3. Сичікова Я.О. Системи управління якістю та стабілізація властивостей наноструктур, сформованих на поверхні напівпровідників. Монографія. К.: Освіта України, 2018. 380 с.
4. Ортинський В. Л. Педагогіка вищої школи: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Київ: Центр учбової літератури, 2009. 472 с.
5. Лазарєва Т. А. Підготовка майбутніх інженерів-технологів харчової галузі до творчої професійної діяльності: монографія Харків: Право, 2014. 528 с.

1.2. Професійна діяльність фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення наноструктур на поверхні напівпровідників

Нанотехнології є однією з найбільш динамічних галузей досліджень і розробок, що відіграють важливу роль як у фундаментальній, так і в прикладній науці, тому для забезпечення конкурентоспроможності своїх випускників заклади вищої освіти повинні постійно оновлювати зміст підготовки майбутніх нанотехнологів, враховуючи динамічність нанотехнологічної галузі [1 - 11]. Зміст підготовки за тією чи іншою освітньою програмою будується на основі визначених кваліфікаційних вимог до майбутнього фахівця у галузі наноматеріалознавства. Об'єктивне визначення кваліфікаційних вимог до майбутнього нанотехнолога можливе тільки на основі досліджень структури його праці при здійсненні виробничого процесу [4] зі створення наноматеріалів для конкретної галузі застосування (медицина, електроніка, енергетика, екологія, будівництво, харчова промисловість, текстильна промисловість, тощо). Так для визначення вимог до професійної компетентності фахівця у галузі наноелектроніки необхідно розглянути процес створення наноструктур на поверхні напівпровідників.

На основі аналізу існуючих досліджень вчених-педагогів (С. Величко, Н. Валько, С. Даньшева О. Завражна, Т. Куценко, М. Михайлюк, Г. Подус, Ю. Ткаченко, Г. Шойинбаєва, В. Шарощенко, Д. Череднік), присвячених теоретичним та методичним засадам професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства за різними освітніми програмами у закладах вищої освіти, можна констатувати, що на сьогодні зміст підготовки цих фахівців побудований на досить поверховому та несистемному аналізі процесу виробництва наноматеріалів і не відображає специфіки синтезу наноструктур на функціональних матеріалах різної природи. Для усунення цієї проблеми, на нашу думку, необхідно застосувати системний підхід до аналізу професійної діяльності фахівця у галузі наноматеріалознавства, який би дозволив врахувати усі існуючі технології і засоби створення наноматеріалів, а також перевірки рівня їхньої якості для конкретної галузі застосування.

Для аналізу професійної діяльності фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення наноструктур на поверхні напівпровідників доцільно використати узагальнену структуру виробничого процесу (Бардус, 2018), запропоновану В. Саловим, 2003. Відповідно до цієї структури, створення будь-якого продукту, в

тому числі і наноматеріалу, передбачає виконання фахівцем діяльності з організації технологічних процесів, безпосередньої їх реалізації та управління процесом виробництва. У залежності від посадових обов'язків об'єктом діяльності фахівця можуть бути всі елементи узагальненої структури виробничого процесу або їх частка.

Під час аналізу діяльності фахівця необхідно розглянути [4]: 1) *предмет* діяльності – те, що суб'єкт має до початку своєї діяльності і що підлягає трансформації в продукт, в нашому дослідженні – це функціональний матеріал – напівпровідник; 2) *засіб* діяльності – об'єкт, що опосередковує вплив суб'єкта на предмет діяльності (обладнання, електроліти); 3) *процес* – технологія одержання продукту праці; 4) *умови* – характеристика оточення суб'єкта в процесі діяльності (освітленість приміщення, температура розчину електроліту, чистота експерименту); 5) п*родукт* – те, що одержано в результаті трансформації предмета в процесі діяльності (нова наноструктура на поверхні напівпровідника).

Розглянемо продуктивну професійну діяльність фахівця у галузі наноматеріалознавства (інженера-нанотехнолога, наноінженера) спрямовану на створення принципово нових наноматеріалів.

Інженер-нанотехнолог виконує професійні завдання, пов'язані з нанотехнологіями та суміжними галузями, вирішує технологічні та наукові проблеми, пов'язані з виробництвом та застосуванням наноструктур [5].

Предметом професійної діяльності наноінженера, що створює наноматеріали для використання в електроніці, техніці та енергетиці, є напівпровідники (найчастіше монокристалічні, такі як: фосфід індію, фосфід галію, арсенід галію, кремній, германій тощо) [7, 8].

Продуктом діяльності наноінженера є синтезований наноматеріал, отриманий в результаті наноструктурування поверхні напівпровідника з метою надання йому нових властивостей.

Будь-якому наноматеріалу притаманні різні фізичні, хімічні, біологічні, морфологічні, екологічні та механічні властивості. Крім того, синтезовані матеріали можна класифікувати за технологічними, патентно-правовими, економічними та функціональними показниками.

До фізичних властивостей наноматеріалів належить множина властивостей речовини / матеріалу поза хімічної взаємодії (магнітні: проникність, точка Кюрі, петля гістерезису, намагніченість, блокувальний розмір, магнітна опірність;

електричні: діалектичні втрати, діалектична провідність, опір, мобільність електронів, рівень Фермі, коефіцієнт Хола; оптичні: індекс рефпації, коефіцієнт прозорості, абсорбційна здатність, відбивальна здатність, освітленість, люмінесценція; термічні: теплопровідність, термічна деградація, теплове лінійне розширення, теплоємність, теплота сублімації, теплота реакції; акустичні: коефіцієнт акустичного згасання, акустичний питомий опір, акустична абсорбція, швидкість проходження звуку, акустичні втрати, реверберація).

Фізичні властивості наноматеріалу узгоджені з механічними властивостями, серед яких найважливішими є: міцність, пружність, пластичність, твердість.

Біологічні властивості наноматеріалів зумовлюються: здатністю матеріалу чинити опір руйнівній дії мікроорганізмів; взаємодією із середовищем, у якому вони знаходяться. У цьому сенсі біологічні властивості узгоджуються з екологічними показниками, які слід розглядати протягом всього життєвого циклу наноматеріалу.

Хімічні властивості наноматеріалів зумовлюються елементним складом поверхні й повинні містити оцінку щодо однорідності цього складу.

До економічних показників належать ті, що пов'язані з витратами ресурсів і окупністю від провадження діяльності. Економічні показники мають кореляцію з технологічними показниками, оскільки від складності технологічного процесу залежать витрати на виробництво. Крім того, показники витрат дуже часто є суперечливими до морфологічних властивостей поверхні, бо покращення морфологічних властивостей можливе лише за рахунок ускладнення технологічного процесу та використання більш вартісної сировини.

Функціональний показник наноматеріалу визначається як його функціональна придатність, тобто набір атрибутів, що зумовлює призначення, основні необхідні й достатні функції, задані технічним завданням або вимогами споживача.

Фізичні, біологічні, механічні властивості, а також екологічні, економічні, патентні, функціональні показники є загальними для всього набору зразків, синтезованих за однакових умов. Вони характеризують характеристики матеріалу загалом. Специфічними для кожного окремого зразка є морфологічні та хімічні властивості, які можуть істотно різнитися для зразків однієї партії та характеризують якість наноматеріалу.

Основними морфологічними характеристиками наноструктур на макро-рівні

є: розподіл за діаметром пор, товщина поруватого шару, наявність дефектів, поруватість, рівномірність розподілу по поверхні; та на мікрорівні – діаметр пори, довжина пори, фактор форми/ округлість, орієнтація пор.

Отже, розглянемо процес перетворення предмету професійної діяльності фахівця у галузі наноматеріалознавства (наноінженера) на продукт, а саме – процес створення поруватої структури на поверхні напівпровідника [5, 10] (рис. 1.1).

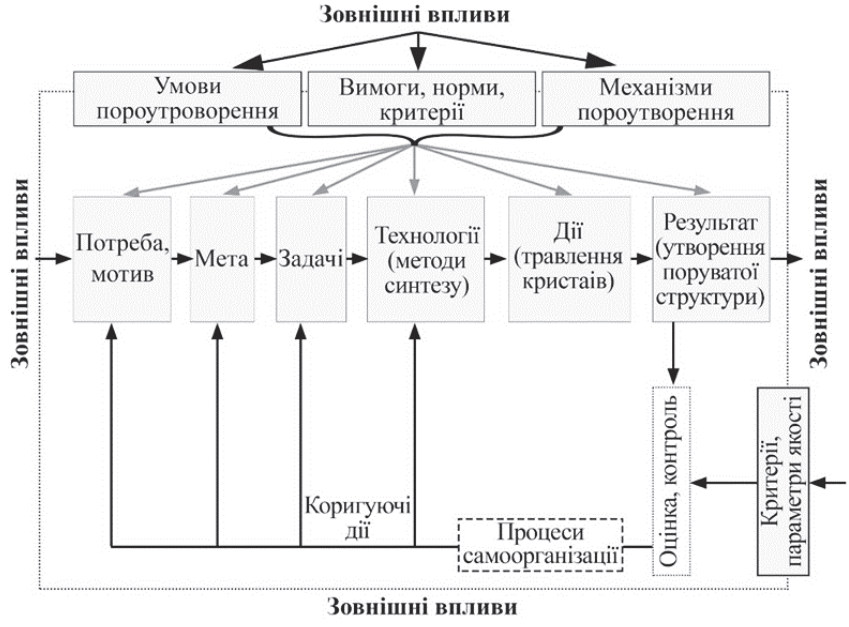

Рисунок 1.1 – Узагальнена структурно-функціональна модель процесу створення поруватої структури на поверхні напівпровідника

Створення наноструктур кристалу починається з потреби, що зумовлена необхідністю отримання наноматеріалів із заданими властивостями (Сичікова, 2018). Для задоволення потреби необхідно сформулювати мету, яка в нашому випадку постає в формуванні пор на поверхні напівпровідникової пластини.

З урахуванням умов, вимог, норм і принципів діяльності мета конкретизується в набір задач. Задачами є встановлення таких технологічних режимів, при яких стає можливим отримання наноструктур із заданим рівнем якості. Це можливо лише за умови контрольованості технологічного процесу та розуміння основних механізмів, що лежать в основі пороутворення. У цьому

контексті насамперед необхідно визначитися з методами синтезу наноструктур, що включають у себе урахування додаткових умов та впливів зовнішніх факторів (ресурсних і технологічних чинників (рис. 1.2).

Рисунок 1.2 – Чинники, які пливають на характеристики наноструктур під час їх синтезу

Ресурсними чинниками є: стан і параметри вихідного напівпровідника, концентрація і склад електроліту та додаткові ресурси, які були витрачені під час синтезу. До технологічних чинників належать умови та режими експерименту, застосоване обладнання. Також необхідним є врахування таких чинників, як кваліфікація персоналу та дотримання режимів обробки, встановлені робочою документацією (технічним завданням, технологічним маршрутом, процедурою тощо).

Далі відбувається безпосередній синтез наноструктур на поверхні напівпровідникової пластини за одним із обраних методів (хімічного, електрохімічного, фотоелектрохімічного травлення, електрохімічного осадження, термічного відпалу, комбінованих методів [8 - 11].

Метод хімічного травлення – реалізується зануренням напівпровідника в селективний травник на тривалий час.

Електрохімічне травлення – є різновидом хімічного травлення, але відрізняється тим, що під час травлення зразки піддаються дії електричного струму. В результаті цієї обробки на поверхні напівпровідників формується поруватий шар.

Метод літографії та фотолітографії реалізується нанесенням на поверхню кристалу шаблону (маски), а далі проводиться звичайне електрохімічне травлення.

Реалізацію цих методів забезпечують шляхом застосування певного обладнання, пристроїв (електрохімічна комірка, устаткування для термічного відпалу, пристрій для іонного бомбардування пластин, вакуумні камери тощо).

Для оцінки результату отриманні наноструктури порівнюють з еталонними за заздалегідь визначеними критеріями якості. При цьому вибір критеріїв зазвичай диктується цілями оцінки. Оцінка відбувається на основі аналізу дослідження поверхні кристалу. Бажаним є використання неруйнівних методів контролю, якими можуть виступати: скануюча електронна мікроскопія (SEM), метод хімічного аналізу поверхні кристалів (EDAX), рентгенівська спектроскопія, фотолюмінесценція (FL) тощо [5].

Залежно від отриманого результату синтез наноструктур можна коригувати. До коригуючих дій можна віднести: підігрів/охолодження електроліту; перемішування електроліту; освітлення зразків під час травлення тощо. Використання коригуючих дій повинно вирішувати завдання покращення показників і доведення результату до еталонного значення.

Наступним кроком на основі розглянутого процесу створення наноструктур на поверхні напівпровідників визначимо види та зміст професійної діяльності наноінженера під час реалізації ним відповідного виробничого процесу.

Відповідно до узагальненої структури будь-якого виробничого процесу [4] синтез наноструктур на поверхні напівпровідників здійснюється в результаті виконання фахівцем у галузі наноматеріалознавства професійної діяльності з організації, технології та управління процесом виробництва (рис. 1.3).

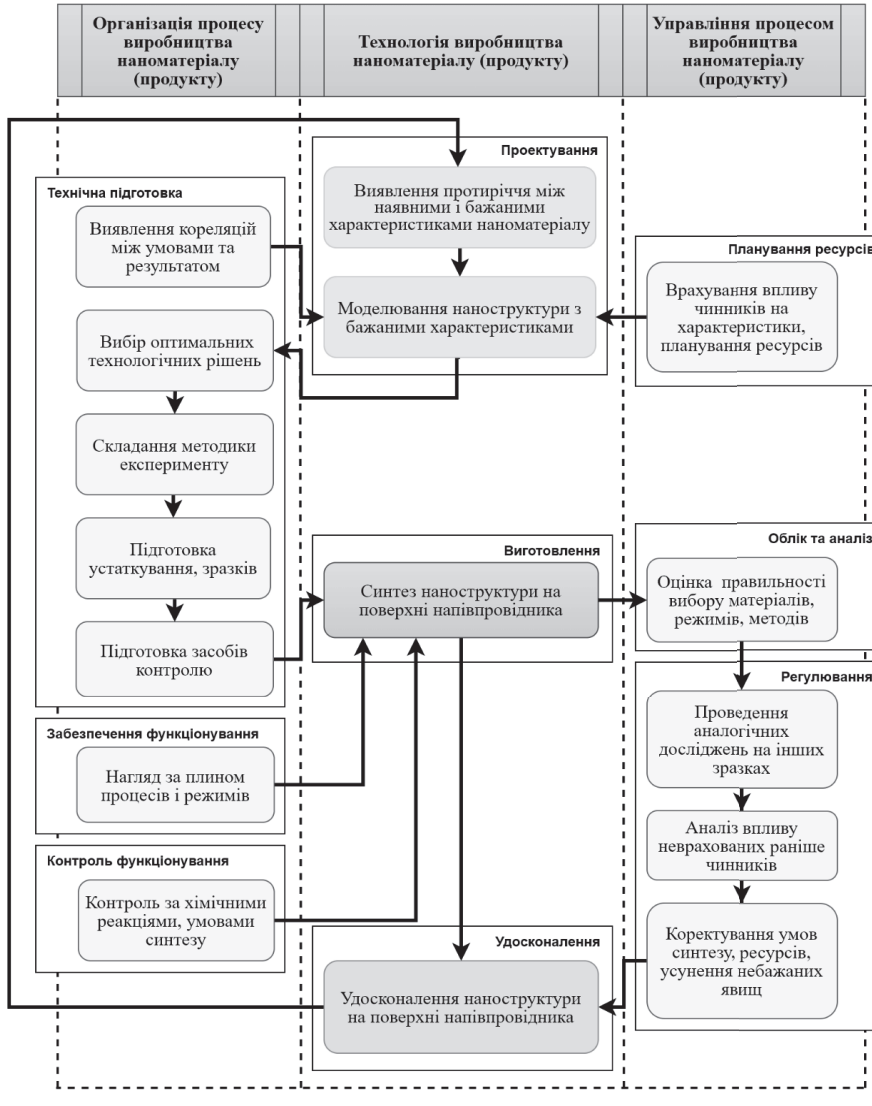

Рисунок 1.3 – Система професійної діяльності фахівця у галузі наноматеріалознавства із синтезу наноструктур на поверхні напівпровідників

Професійна діяльність фахівця у галузі наноматеріалознавства *з організації процесу виробництва наноматеріалів* передбачає виконання ним дій з технічної підготовки, забезпечення і контролю функціонування процесу синтезу наноструктур на поверхні напівпровідника.

Дії фахівця у галузі наноматеріалознавства *з організації процесу* виробництва наноматеріалів полягають у: виявленні кореляцій між умовами та результатом синтезу, виборі оптимальних технологічних рішень, складанні

методики експерименту, підготовки устаткування, зразків та засобів контролю, нагляді за плином процесів і режимів, контролі за хімічними реакціями, умовами синтезу.

Професійна діяльність фахівця у галузі наноматеріалознавства *із реалізації технологічного процесу* виробництва наноматеріалів передбачає: проектування майбутнього наноматеріалу (виявлення протиріччя між наявними та бажаними характеристиками наноматеріалу, моделювання наноструктури з бажаними характеристиками), його виготовлення (синтезу наноструктури на його поверхні), за необхідності, удосконалення та утилізацію.

Професійна діяльність фахівця у галузі наноматеріалознавства з *управління виробничого процесу* синтезу наноструктур передбачає: врахування впливу чинників на характеристики, планування ресурсів, оцінку правильності вибору матеріалів, режимів, методів, а також регулювання процесу синтезу шляхом: проведення аналогічних досліджень на інших зразках, аналіз впливу неврахованих раніше чинників, коректування умов синтезу, ресурсів, усунення небажаних явищ.

Отже, узагальнюючи все вище сказане, можна сформулювати основні професійні обов'язки інженера-нанотехнолога [3, 5]:

– створення, тестування та аналіз різних типів наноструктур на поверхні напівпровідника з використанням сучасного дослідницького та вимірювального обладнання;

– проектування та конструкція пристроїв і систем для проведення нанометричних досліджень і вимірювань;

– розробка технологій досягнення необхідних значень фізико-технічних параметрів синтезованих наноматеріалів у процесі виробництва;

– встановлення принципів і закономірностей, на яких ґрунтується система управління процесом формування пор на поверхні напівпровідників;

– планування та проведення експериментів та критичного аналізу результатів вимірювань наноструктур;

– формулювання висновків щодо проведених експериментів і досліджень в області нанотехнологій;

– проведення достовірної та професійної оцінки тенденцій на ринку нанопродукції та вживання заходів з їх комерціалізації;

– дотримання в роботі принципів охорони праці, техніки безпеки, протипожежного захисту та охорони навколишнього середовища.

Нами на основі аналізу предметів, продуктів, засобів, процесу та умов професійної діяльності фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення наноматеріалів системно розглянуто процес синтезу наноструктур на поверхні напівпровідників і визначено властивості функціонального та синтезованого наноматеріалу, умови, технології і засоби їх створення, що являє собою зміст професійної підготовки цих фахівців у закладах вищої освіти.

Проведений аналіз процесу створення наноструктур на поверхні напівпровідників на основі узагальненої структури виробничого процесу за В. Саловим, дозволив визначити види та зміст професійної діяльності наноінженера, які є основою його організаційної, технологічної, проектувальної, науково-дослідної та інших професійних компетентностей.

Література:

1. Бардус І. О. Фундаменталізація професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі інформаційних технологій до продуктивної діяльності: монографія / І. Бардус. Харків: ПромАрт, 2018. 393 с.
2. Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників. Вип. 1. Професії працівників, що є загальними для всіх видів економічної діяльності. Розділ 1. Професії керівників, професіоналів, спеціалістів та технічних службовців / уклад. Я. Кавторєва. Харків: Фактор, 2008. 384 с.
3. Професії. Інженер-нанотехнолог. [Електронний ресурс] – URL: https://osvita.ua/proforientation/profession/74269/
4. Салов В.О. Основи педагогіки вищої школи Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. 183 с.
5. Сичікова Я.О. Науково-методологічні засади оцінювання якості й властивостей наноструктур на поверхні напівпровідників: дис… доктора тех. наук: 05.01.02. Бердянський державний педагогічний університет; Національний науковий центр «Інститут метрології» Міністерства економічного розвитку і торгівлі України. Харків, 2018. 442 с.
6. Хоменко В. Г. Теоретичні та методичні засади проектування дуального змісту професійної підготовки майбутніх інженерів-педагогів комп'ютерного профілю : монографія. Бердянськ: БДПУ, 2015. 473 с.
7. Suchikova Y., Bohdanov I., Kovachov S., Bardus I., Lazarenko A. and Shishkin G. *Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis*. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (August 26 – 28, 2021). Lviv. P.p. 584-588.
8. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I., ... Kenzhina, I., & Popov, A.I. Electrochemical Growth and Structural Study of the AlxGa1−xAs Nanowhisker Layer on the GaAs Surface. Journal of Manufacturing and Materials Processing, . 2023. 7(5), 153.
9. Suchikova Y., Kovachov S., Bohdanov I., ... Pankratov V., Popov A.I. Study of the structural and morphological characteristics of the CdxTeyOz nanocomposite obtained on the surface of the CdS/ZnO heterostructure by the SILAR method // Applied Physics A: Materials Science and Processing. 2023. 129(7). P. 499.
10. Suchikova Y., Kovachov S., Bohdanov I., ... Moskina A., Popov A. Characterization of CdxTeyOz/CdS/ZnO Heterostructures Synthesized by the SILAR Method // Coatings. 2023. 13(3). P. 639.
11. Kovachov S., Bohdanov I., Suchikova Y. Nano or Na-No? Ukraine's crisis of opportunity in nanotechnology education // Industry and Higher Education. 2023.

1.3. Професійна компетентність фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників

Подальший розвиток національної безпеки та оборони України вимагає від системи вищої освіти підготовки високо компетентних фахівців у галузі наноматеріалознавства (наноінженерів), здатних творчо застосовувати на практиці новітні досягнення сучасної науки та створювати інноваційні зразки наноматеріалів і нанотехнологій [1 - 13]. Підвищити якість підготовки цих фахівців до продуктивної діяльності можливо шляхом розроблення відповідної методичної системи на засадах системної фундаменталізації та дуалізації навчання [3]. Розробка відповідної методичної системи, в першу чергу, вимагає визначення структури та змісту професійної компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників, яку вона буде формувати у майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

В Україні підготовка фахівця у галузі наноматеріалознавства здійснюється закладами вищої освіти за спеціальностями: 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» [8], 132 «Матеріалознавство» [9, 10], 153 «Мікро- та наносистемна техніка» [11, 12], для усіх цих спеціальностей розроблені стандарти вищої освіти для першого, другого та третього рівнів освіти (окрім спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», для якої наразі існує стандарт вищої освіти тільки для бакалаврського рівня). На основі аналізу освітніх програм підготовки фахівців за цими спеціальностями нами визначено, що наведений в цих документах перелік професійних компетентностей і програмних результатів навчання, не в повній мірі відповідає системі професійної продуктивної діяльності наноінженера, а також не враховує у повній мірі існуючі технології і засоби створення інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників. Тому на нашу думку, для подальшого розроблення методичної системи підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства за спеціальностями 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» [8], 132 «Матеріалознавство» [9, 10], 153 «Мікро- та наносистемна техніка» необхідно розробити узагальнену систему професійних компетентностей наноінженера на основі видів та змісту його продуктивної діяльності із синтезу наноструктур на поверхні напівпровідників [2].

Показником якості професійної підготовки майбутніх фахівців є їхній рівень сформованості загальних та фахових компетентностей, які забезпечують ефективне виконання ними професійної діяльності. Цілі та зміст підготовки за тією чи іншою освітньою програмою будується на основі кваліфікаційних вимог до майбутнього фахівця у галузі наноматеріалознавства, які мають бути визначені на основі аналізу його професійної діяльності [6]. Нами в роботі [2] визначено зміст професійної діяльності фахівця у галузі наноматеріалознавства з організації технологічних процесів, безпосередньої їх реалізації та управління процесом виробництва інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників.

Під компетентністю ми будемо розуміти «здатність особи успішно соціалізуватися, навчатися, провадити професійну діяльність, яка виникає на основі динамічної комбінації знань, умінь, навичок, способів мислення, поглядів, цінностей, інших особистих якостей» [5].

На рис. 1.4 наведено структурно-логічну схему, за якою нами буде визначено зміст професійної компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства.

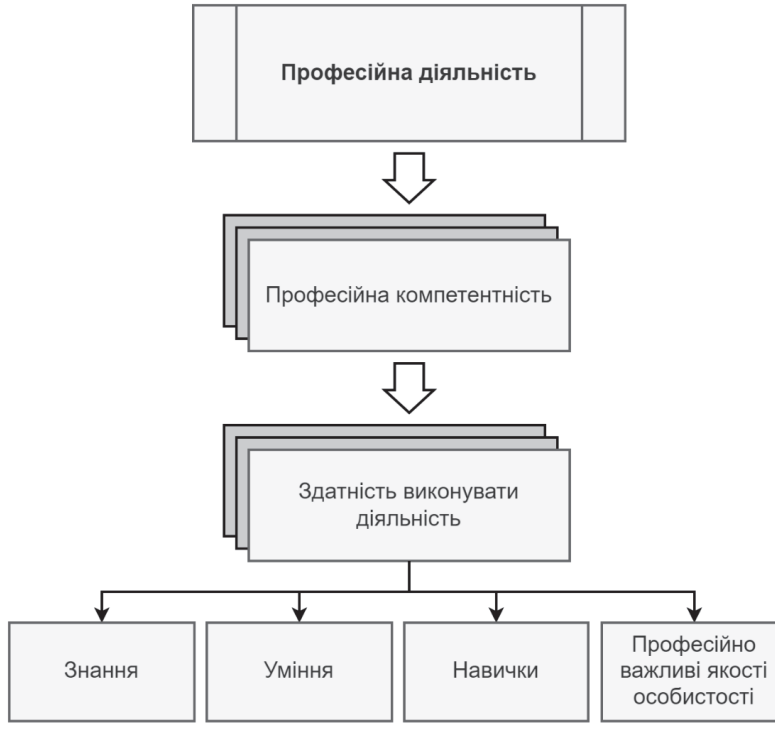

Рисунок 1.4 – Структуро-логічна схема визначення змісту професійної компетентності фахівця

Відповідно до узагальненої структури будь-якого виробничого процесу [6] створення нових наноматеріалів здійснюється в результаті виконання наноінженером професійної діяльності з організації, технології та управління процесом виробництва. Ця діяльність реалізується шляхом технологічних операцій, які необхідно виконати для синтезу інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідника для надання йому нових властивостей: організація, проектування, виготовлення, експлуатація, удосконалення, управління, науковий пошук щодо технологій синтезу нових зразків наноматеріалів та галузей їх застосування.

Для виконання перелічених технологічних операцій фахівцю у галузі наноматеріалознавства необхідно володіти проектною, технологічною, експлуатаційною (із застосування створених наноматеріалів), науково-дослідною, організаційно-управлінською компетентностями (за класифікацією професійних компентностей Н. Брюханової [4]), які є складовими його професійної компетентності.

Оскільки професійна компетентність фахівця формується під час його навчання у закладі вищої освіти, тому рівень її сформованості є показником якості професійної підготовки. Зважаючи на це нами визначено ті складові професійної компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства, на формування яких буде впливати запропонована нами в роботі [3] методична система системної фундаменталізованої професійної підготовки, а саме: проектна, технологічна, експлуатаційна (компетентність із застосування створених наноматеріалів), науково-дослідна компетентності.

Кожна з означених компетентностей передбачає виконання певних видів робіт, що пов’язані з вирішенням конкретних професійних задач.

Отже, визначимо зміст кожної з перелічених компетентностей фахівця у галузі наноматеріалознавства, необхідних для створення нових наноматеріалів.

Проектна компетентність передбачає моделювання нової наноструктури на поверхні напівпровідника для набуття ним бажаних функціональних властивостей, вибір оптимальних технологічних рішень стосовно синтезу цих наноструктур та складання методики експерименту відповідно до обраної технології.

У таблиці 1.1 наведено структуру та зміст проектної компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства.

Проектна компетентність (а також технологічна, організаційно-управлінська та науково-дослідна компетентності) фахівця у галузі наноматеріалознавства передбачає володіння ґрунтовними знаннями з: фізики матеріалів, пристроїв і технологій для наноелектронних застосувань, фізики та хімії в нанометровому масштабі, електронних, оптичних, механічних та термодинамічних властивостей металів, напівпровідників та ізоляторів, хімічних методів отримання та характеристик наноструктурованих матеріалів; сучасних математичних методів, цифрових технологій та спеціалізованого програмного забезпечення, які використовуються для моделювання та аналізу наноструктурованих матеріалів і процесів їх синтезу [13].

Таблиця 1.1 – Структура та зміст проектної компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства

Професійна діяльність	**Фахові професійні компетентності**
Моделювання нової наноструктури на поверхні напівпровідника для набуття ним бажаних функціональних властивостей	Здатність виявляти та ставити проблеми в сфері наноматеріалознавства, приймати ефективні рішення для їх вирішення [10]. Здатність до критичного аналізу та прогнозування характеристик нових та існуючих матеріалів, параметрів процесів їх отримання, обробки та використання у виробах (або у виробничих умовах) [10]. Здатність розуміти та використовувати математичні та числові методи моделювання властивостей, явищ та процесів [8, 10].
Вибір оптимальних технологічних рішень стосовно синтезу нових наноструктур	Здатність обґрунтовано здійснювати вибір технологій виготовлення, оброблення, випробування наноматеріалів і виробів для конкретних умов експлуатації [10].
Складання методики експерименту відповідно до обраної технології	Здатність планувати та проводити дослідження в сфері наноматеріалознавства у лабораторних та виробничих умовах на відповідному рівні з використанням сучасних методів і методик експерименту [10].

Для ефективного виконання проектної діяльності фахівець у галузі наноматеріалознавства повинен вміти [2, 8−13]:

1. Виявляти, формулювати і вирішувати наноматеріалознавчі проблеми і задачі;
2. Застосовувати сучасні інформаційні технології та спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання наноструктур на поверхні напівпровідника та процеси їх синтезу;
3. Приймати ефективні рішення в нових ситуаціях або непередбачених умовах з урахуванням їх можливих наслідків, оцінювати і порівнювати альтернативи, оцінювати технічні, економічні, екологічні та правові ризики;
4. Планувати і виконувати експериментальні наноматеріалознавчі дослідження, обирати обладнання та методики, що гарантують отримання необхідних характеристик наноматеріалів;
5. Проектувати нові наноматеріали, розробляти, досліджувати та використовувати фізичні та математичні моделі матеріалів та процесів;
6. Розробляти комплексний дизайн нових наноматеріалів і виробів на їх основі з урахуванням експлуатаційних властивостей та умов використання;
7. Обирати методи і методики досліджень наноматеріалів та процесів в галузі матеріалознавства з урахуванням особливості проблем, що вирішуються;
8. Застосовувати сучасні математичні методи, цифрові технології та спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач і проблем матеріалознавства.

Технологічна компетентність фахівця у галузі наноматеріалознавства забезпечує ефективність професійної діяльності із синтезу нової наноструктури на поверхні напівпровідника на основі обраної технології.

У таблиці 1.2 наведено структуру та зміст технологічної компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства.

Таблиця 1.2 – Структура та зміст технологічної компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства

Професійна діяльність	**Фахові професійні компетентності**
Синтез нової наноструктури на поверхні напівпровідника на основі обраної технології	Здатність ефективно використовувати складне контрольно-вимірювальне, технологічне та дослідницьке обладнання при дослідженнях та виробництві наноматеріалів різноманітного призначення [12].

Сформована технологічна професійна компетентність вимагає від фахівця у галузі наноматеріалознавства вміти:

1. Вміти проводити реальні експерименти та будувати математичні і фізичні моделі для перевірки гіпотез та дослідження явищ і їх фізичних законів;
2. Вміти користуватися стандартним та спеціальним обладнанням для здійснення професійної діяльності та проведення експериментів;
3. Мати навички планування, складання схем та проведення експерименту, збіру та аналізу даних, включаючи уважний аналіз помилок та критичне оцінювання отриманих результатів;
4. Вміти отримати результат в рамках обмеженого часу з наголосом на професійну сумлінність та унеможливлення плагіату;
5. Виконувати вимірювання фізичних величин для виконання досліджень шляхом планування, виконання та аналізу експериментів, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити відповідні висновки (враховуючи ступінь невизначеності).

Організаційно-управлінська компетентність дозволяє фахівцю здійснювати технічну підготовку, контроль та регулювання процесу синтезу наноструктур на поверхні напівпровідника із заданою якістю.

У таблиці 1.3 наведено структуру та зміст організаційно-управлінської компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства.

Таблиця 1.3 – Структура та зміст організаційно-управлінської компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства

Професійна діяльність	Фахові професійні компетентності
Технічна підготовка процесу синтезу наноструктур на поверхні напівпровідника	Здатність організовувати та здійснювати комплексні випробування матеріалів і виробів [10]. Здатність здійснювати тестування та діагностику приладів та обладнання [12].
Контроль та регулювання процесу синтезу наноструктур на поверхні напівпровідника із заданою якістю	Здатність оцінювати техніко-економічну ефективність досліджень, технологічних процесів та інноваційних розробок з урахуванням невизначеності умов і вимог [10]. Здатність оцінювати та забезпечувати якість робіт, що виконуються [10].

Організаційно-управлінська компетентність фахівця у галузі наноматеріалознавства передбачає володіння такими знаннями, уміннями та навичками, як:

1. Обґрунтовано призначати показники якості наноматеріалів;
2. Обирати та застосовувати обладнання і методики контролю якості наноматеріалів, здійснювати статистичну обробку і статистичний аналіз результатів експериментів, обґрунтовувати висновки.
3. Забезпечувати якість виробництва наноматеріалів.

Сформована *науково-дослідна компетентність* дозволяє фахівцю у галузі наноматеріалознавства здійснювати науковий пошук морфологічних властивостей структури наноматеріалу для надання йому необхідних функціональних властивостей, розробляти нові технології та відповідне обладнання для синтезу наноструктур на поверхні напівпровідника.

У таблиці 1.4 наведено структуру та зміст науково-дослідної компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства.

Таблиця 1.4 – Структура та зміст науково-дослідної компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства

Професійна діяльність	**Фахові професійні компетентності**
Науковий пошук морфологічних властивостей структури наноматеріалу для надання йому необхідних функціональних властивостей	Здатність застосовувати спеціалізовані новітні методи аналізу та прогнозування ринку матеріалів, стратегічного планування розвитку індустрії [10]. Здатність аналізувати складні проблеми, визначати постановки проблем і формулювати чітко структуровані дослідницькі запитання з правильним рівнем абстракції [13]. Здатність засвоювати існуючі та нові концепції, методології та результати досліджень і застосовувати їх в академічному чи промисловому дослідницькому середовищі [13].
Науковий пошук нових технологій та обладнання для синтезу наноструктур на поверхні напівпровідника	Здатність розробляти нові методи і методики досліджень, базуючись на знанні методології наукового дослідження та особливості проблеми, що вирішується [10]. Здатність систематично здобувати та критично оцінювати наукову цінність і актуальність найновіших досягнень, пов'язаних з нанонаукою, нанотехнологіями та наноінженерією [13].

Науково-дослідна компетентність фахівця у галузі наноматеріалознавства передбачає володіння такими знаннями, уміннями та навичками, як:

1. Розуміти та застосовувати принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями в контексті існуючих теорій;
2. Збирати необхідну інформацію, використовуючи науково-технічну літературу, бази даних та інші джерела, аналізувати і оцінювати її;
3. Прогнозувати розвиток сучасного ринку матеріалів та технологій, застосовувати методи стратегічного планування для забезпечення сталого розвитку технологій у контексті гдобалізаційних викликів;
4. Приймати ефективні рішення в нових ситуаціях або непередбачених умовах з урахуванням їх можливих наслідків, оцінювати і порівнювати альтернативи, оцінювати технічні, економічні, екологічні та правові ризики.
5. Оптимізувати конструкції систем, пристроїв та компонентів мікро- та наносистемної техніки, а також технології їх виготовлення [12].

Розглянуті нами проектна, технологічна, організаційно-управлінська та науково-дослідна компетентності є фаховими професійними компетентностями фахівця у галузі наноматеріалознавства, які виражаються як здатність виконувати відповідну діяльність.

Нами навмисно під час визначення структури проектної, технологічної, організаційно-управлінської та науково-дослідної компетентностей наведено перелік лише відповідних знань, умінь та навичок, які складають зміст кожної з них, і не описано професійно важливі якості особистості, необхідні для ефективного виконання відповідної професійної діяльності фахівця у галузі наноматеріалознавства.

Справа в тому, що проектна, технологічна, організаційно-управлінська та науково-дослідна компетентності вимагають від фахівця володіння однаковим набором когнітивних та організаційно-діяльнісних професійно важливих якостей особистості, тому розглядати їх окремо в контексті кожної компетентності не є доцільним.

До *когнітивних* професійно важливих якостей особистості фахівця у галузі наноматеріалознавства, які можливо розвивати під час його фундаменталізованої підготовки у закладі вищої освіти, належать [1, 7]:

1. Здатність до системного мислення, аналізу та синтезу (логічне мислення) – є основою для прийняття логічних та ефективних рішень шляхом виконання розумових операцій порівняння, аналізу, синтезу, абстрагування, узагальнення.
2. Гнучкість мислення – здатність пропонувати творчі рішення, засновані на різних алгоритмах або з різних областей знань.
3. Оригінальність мислення – своєрідність креативного мислення, яка характеризує незвичайність підходу до вирішення творчих завдань і визначається кількістю рідкісних креативних рішень і оригінальністю структури відповіді.
4. Здатність знаходити закономірності – здатність до аналізу і порівняння, вміння робити логічні побудови, легкість виникнення асоціативних зв’язків, встановлення тотожності і відмінності, швидке перемикання з одного способу розумової дії на інший.
5. Здатність до прогнозування – здатність до випереджального відображення майбутнього; складова частина пізнавальної діяльності

фахівця у галузі наноматеріалознавства, спрямована на визначення тенденцій динаміки конкретного об'єкта або події на основі аналізу його стану в минулому і сьогоденні.

6. Здатність вирішувати проблеми – пов'язана з різними методами, що використовують міркування, аналітичні методи та визначення пріоритетів інформації для вирішення проблем.
7. Критичне мислення – вміння фіксувати ті труднощі, при рішенні будь-яких завдань, адекватно оцінювати різні моменти свого інтелектуального пошуку (варіанти, альтернативи, стратегії, помилкові дії) для того, щоб, усвідомивши їх підстави, мати можливість здійснити і аргументувати вибір подальшого руху.
8. Ерудиція – здатність фахівця проявляти пізнавальну активність.

До *організаційно-діяльнісних* професійно важливих якостей фахівця у галузі наноматеріалознавства належать:

1. Саморефлексія – здатність критично оцінювати власні дії та досягнення.
2. Самостійність – здатність до саморозвитку та самоосвіти, автономного розмірковування про різноманітні проблеми, пов'язані з нанонаукою та нанотехнологіями.

Отже, на основі аналізу виробничого процесу із синтезу інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників нами розроблено узагальнену систему професійних компетентностей майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства за профілями 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», 132 «Матеріалознавство», 153 «Мікро- та наносистемна техніка». Визначений зміст проектної, технологічної, організаційно-управлінської та науково-дослідної компетентностей буде нами використаний для подальшого розроблення методичної системи підготовки цих фахівців на засадах фундаменталізації та дуалізації освіти.

Література

1. Бардус І. О. Фундаменталізація професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі інформаційних технологій до продуктивної діяльності: монографія. Харків: ПромАрт, 2018. 393 с.
2. Бардус І. О., Ковачов С. О., Богданов І. Т., Сичікова Я. О. Професійна діяльність фахівця в галузі наноматеріалознавства зі створення наноструктур на поверхні напівпровідників. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету*. Серія : Педагогічні науки : зб. наук. пр. Вип. 1. Бердянськ : БДПУ, 2022. С.55-64.

3. Богданов І. Т., Сичікова Я. О., Бардус І. О. Концептуальні засади підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної професійної діяльності. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету*. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр. Вип. 2. Бердянськ: БДПУ, 2021. С.168−176.
4. Брюханова Н.О. Основи педагогічного проектування в інженерно-педагогічній освіті: монографія. Харків: УІПА, НТМТ. 2010. 438 с.
5. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо вдосконалення освітньої діяльності у сфері вищої освіти» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2020, № 24, ст.170).
6. Салов В.О. Основи педагогіки вищої школи. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. 183 с.
7. Сичікова Я. О., Богданов І. Т., Бардус І. О., Ковачов С. С. Формування та розвиток когнітивних професіно важливих якостей майбутнього нанотехнолога в умовах фундаменталізації його професійної підготовки. *Актуальні проблеми в системі освіти: загальноосвітній заклад середньої освіти – доуніверситетська підготовка – заклад вищої освіти.* 2022. Вип. 2. С. 726-733.
8. Стандарт вищої освіти зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. *Електронний ресурс.* URL: https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/standarty/2020/06/17/105-Prykl.fiz.nanomater.bakalavr-1.pdf.
9. Стандарт вищої освіти зі спеціальності 132 «Матеріалознавство» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. *Електронний ресурс.* URL: https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/26/132-Materialozn-bakalavr-1.pdf. (Дата звернення: 10.10.2022).
10. Стандарт вищої освіти зі спеціальності 132 «Матеріалознавство» для другого (магістерського) рівня вищої освіти. *Електронний ресурс.* URL: https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2020/11/17/132-materialoznavstvo-mahistr.pdf.
11. Стандарт вищої освіти зі спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. *Електронний ресурс.* URL: https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/05/28/153-Mikro.ta.nanosys.tekhn.bakalavr-10.12.pdf.
12. Стандарт вищої освіти зі спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» для другого (магістерського) рівня вищої освіти. *Електронний ресурс.* URL: https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2020/11/23/153-mikro-ta-nanosystemna-tekhnika-mahistr.pdf.
13. Master of Nanoscience, Nanotechnology and Nanoengineering (KU Leuven). *Електронний ресурс.* URL: https://onderwijsaanbod.kuleuven.be/pdf/generate_pdf.php?url=https://onderwijsaanbod.kuleuven.be/opleidingen/e/CQ_50269006.htm?pdf=1&hash=activetab=doelstellingen#activetab=doelstellingen. (Дата звернення: 10.10.2022).

1.4. Сучасний стан підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства: короткий огляд освітніх програм та шляхи покращення

Наноматеріалознавство – це галузь, яка швидко розвивається, вона має великі перспективи для широкого спектру застосувань, від енергетики [1, 2] та електроніки [3, 4] до медицини [5, 6] та біотехнологій [7, 8]. Як наслідок, зростає попит на висококваліфікованих спеціалістів у цій галузі [9]. Тому підготовка майбутніх наноінженерів має велике значення, оскільки це визначатиме якість та вплив майбутніх досліджень та інновацій у промисловому секторі [10].

Дослідники зазначають, що існує певна історична складність у розробці та впровадженні освітніх програм, що зумовлена міждисциплінарністю нанотехнологійної галузі [11]. Під час розробки цих програм та дієвих методик навчання наноінженерів прийшло розуміння, що підготовка фахівців у галузі наноматеріалознавства повинна спиратися на модель потрійної спіралі, яка концентрується на аналізі міцності відносин між університетом, промисловістю та урядом (UIG), як однієї з найважливіших сфер для розуміння та вдосконалення процесу інновацій протягом тривалого часу [12]. Авторами роботи [13] зазначається, що сьогодні існують два основних напрямки обґрунтування спроб включити нанонауку та нанотехнології у формальну освіту: (1) підвищення майбутньої робочої сили в наносфері для задоволення економічних очікувань; (2) кожній людині потрібно буде брати участь у дискусіях про нанонауку та нанотехнології з їх зростаючим значенням у повсякденному житті. Основними перешкодами для систем навчання та впровадження нанонауки є вартість розробок та проблеми з регуляторними системами і заходами у глобальному нанотехнологічному суспільстві [14]. Разом з тим, сьогодні є очевидним той факт, що нанотехнології мають потенціал для застосування в усіх сферах промисловості [15], а особливо в технологіях подвійного та воєнного призначення через їхні принципово революційні переваги [16, 17]. Систематичний огляд для виявлення потреб у кваліфікації робочої сили з нанотехнологій призводить дослідників всього світу до припущень, що у майбутньому збільшиться дефіцит кваліфікованих фахівців та розриви в навичках у галузі нанотехнологій. Також дослідниками акцентується увага на наявність потреби в подальшій підготовці

вчителів-предметників (хімії, фізики, біології) з нанонауки та нанотехнологій, для підвищення рівня їх обізнаності та знань і забезпечення їхньої готовності до викладання цієї теми [18 - 20].

Сучасний стан підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства різниться між різними закладами вищої освіти світу [21]. У таблиці 1.5 наведено приклади освітніх програм другого ступеня освіти деяких провідних університетів світу.

Таблиця 1.5 – Порівняння деяких магістерських програм світу з підготовки нанотехнологів

№	Університет, Країна	Назва програми	Опис програми
1	Університет Фліндерс, Австралія	Master of Nanotechnology	Студенти розвиватимуть здатність розуміти основні наукові концепції, що лежать в основі нанонауки, і властивості матеріалів і біоматеріалів на атомно-молекулярному рівні та закони масштабування, що регулюють ці властивості. Вони розумітимуть сучасні передові розробки в області нанотехнологій, а також розпізнаватимуть і розвиватимуть нові та інноваційні ідеї, використовуючи цілий ряд лабораторних методів, зокрема інструментів виготовлення та визначення характеристик, що використовуються в нанотехнологіях, таких як різні мікроскопії, модифікації поверхні та методи побудови на молекулярному рівні.
2	Університет Ватерлоо, Канада	Магістр прикладних наук нанотехнологій	Міждисциплінарні дослідницькі програми, які спільно пропонуються трьома кафедрами на факультеті природничих наук і чотирма на факультеті інженерії, забезпечують студентів стимулюючим освітнім середовищем, що охоплює від фундаментальних досліджень до застосування. Мета програм співпраці полягає в тому, щоб дозволити студентам отримати погляди на нанотехнології від широкої спільноти вчених у межах та за межами їхніх дисциплін як у курсовій, так і в дипломній роботі. Спільні програми MASc і MSc забезпечують міцну основу в нових сферах нанонауки або наноінженерії для підготовки до професійної діяльності або для подальшого навчання в аспірантурі та досліджень, що ведуть до докторського ступеня.
3	Університет Аалто, Фінляндія	Магістерська програма з електроніки та нанотехнологій	Ця програма зосереджена на дослідженні та створенні апаратного забезпечення для цих технологій, прокладаючи шлях для плавного переходу до кар'єри в галузі або академічної аспірантури.
4	Гренобльський технологічний інститут, Франція	Магістерська програма з нанотехнологій	2-річний міжнародний курс, який народився в результаті співпраці між трьома європейськими інженерними інститутами: Національним політехнічним інститутом Гренобля (Франція), Політехнічним університетом Лозанни

			(Швейцарія) та Політехнічним інститутом Туріна (Італія).
5	Технічний університет Дрездена, Германія	Магістр наук (MSc) Нанобіофізика	2-річна магістерська програма має на меті навчити студентів основам біофізики та біонанотехнологій з подвійною метою: використовувати нанотехнологічні підходи, щоб краще охарактеризувати та зрозуміти складні молекулярні машини, такі як біомолекули, а також використовувати ці молекули в технологічних системах або використовувати їх як шаблони або модельні системи для нанотехнологій «знизу вгору».
6	Інститут нанотехнологій Аміті, Індія	M.Sc. Нанонаука шляхом дослідження	Це дворічна програма повного робочого дня в Університеті Аміті
7	Ізраїльський технологічний інститут Техніон, Ізраїль	Магістр наук у галузі нанонаук і нанотехнологій	У цій міждисциплінарній програмі беруть участь такі академічні підрозділи Technion: машинобудування, електротехніка, хімічна інженерія, біотехнологія та харчова інженерія, фізика, хімія, біологія, медицина, інженерія матеріалів та біомедична інженерія.
8	Університет Осло, Норвегія	Ступінь магістра матеріалознавства та нанотехнологій	Це мультидисциплінарна програма на стику фізики та хімії. Основна увага приділяється передовим матеріалам, енергетиці та нанотехнологіям, але програма також забезпечує міцну основу з фізики та хімії. Незважаючи на те, що спеціальні курси з фізики, хімії, математики, нанотехнологій та інформатики є обов'язковими, є місце для ряду факультативних курсів, які ви можете інтегрувати в ступінь.
9	Гонконгський університет науки і технологій, Китай	M.Phil. Нанонаука та технології	У Науково-технічному університеті Гонконгу (HKUST) Наукова школа та Інженерна школа спільно пропонують програму з нанонауки та нанотехнологій, які об'єднують різні дисципліни як науки, так і техніки. Наукова школа пропонує магістерську та докторську програми з нанонауки та технологій (NSNT), а інженерна школа пропонує концентрацію нанотехнологій.
10	Лундський університет, Швеція	Магістерська програма з нанонауки	Вам цікаво поринути в інший світ, де класичні закони більше не діють і керує квантова механіка? Чи хотіли б ви прийняти атомістичний погляд, щоб зрозуміти, як все працює? Вам подобається працювати в дійсно міждисциплінарному середовищі? Як щодо розробки нових біомедичних датчиків шляхом застосування нанотехнологій або підключення електроніки до живих клітин? У такому випадку: вивчайте інженерні нанонауки в Лундському університеті. Це 5-річна програма, кульмінацією якої є ступінь магістра наук. Примітка: перші три роки програми проводяться шведською мовою. Останні 2 роки будуть проводитися подібно до магістерської програми та проводитимуться переважно англійською мовою.
11	Швейцарський федеральний технологічний інститут, Швейцарія	Магістр наук у галузі мікро та наносистем	Міждисциплінарна навчальна програма зосереджена на курсах механічної та електротехніки, важливих для інженерів мікро- та наносистем, доповнених курсами з фізики, хімії,

			біології, матеріалознавства, обчислювальної техніки, ділового адміністрування та управління.
12	Кембриджський університет, Великобританія	Магістр мікро- та нанотехнологічних підприємств	Магістерська програма з мікро- та нанотехнологічного підприємства – це можливість зібрати провідних світових вчених і успішних підприємців, щоб отримати річну ступінь магістра, яка поєднує в собі поглиблену міждисциплінарну наукову програму з глобальним поглядом на комерційні можливості і бізнес-практику, необхідної для успішної експлуатації в галузях нанотехнологій і мікроелектромеханічних систем (MEMS), що швидко розвиваються.
13	Університет Дрекселя, США	Ступінь магістра з наноматеріалів	Ступінь магістра наук з наноматеріалів — це ступінь післядипломної освіти, який дає вам змогу підвищити свою академічну кваліфікацію в галузі наноматеріалів, що швидко розвивається, і просунути свою кар'єру. З 21 кредиту непрофільного курсу принаймні дев'ять повинні бути отримані у відділі матеріалів, а решта можуть бути отримані в інженерному коледжі, школі біомедичної інженерії, науки та систем охорони здоров'я, коледжі мистецтв і наук або в інші коледжі.

У той час як ЗВО розвинутих країн мають добре налагоджені програми, які надають студентам комплексну освіту як теоретичних знань, так і практичних навичок, іншим важко йти в ногу зі швидкими темпами технологічного прогресу та мінливими вимогами галузі.

Так, програми підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства провідних університетів світу включають зосередженість на передових дослідженнях і надійну основу в фундаментальних принципах науки про наноматеріали. Багато програм також надають здобувачам практичний досвід навчання, такий як стажування та практика на підприємствах, які допомагають подолати розрив між теоретичними знаннями та практичними навичками.

Однак часто навіть в цих освітніх програмах є значні недоліки, такі як відсутність уваги до етичних і соціальних наслідків розвитку нанотехнологій, а також неспроможність інтегрувати теоретичні знання в практичну діяльність. Це може призвести до того, що випускники не будуть повністю готові до вимог сучасного робочого місця нанотехнолога та можуть мати проблеми з тим, щоб зробити значний вплив у галузі науки про наноматеріали.

Ще одним викликом, який постає перед підготовкою майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, є швидкі темпи технологічного прогресу та зміни вимог промисловості. Через це освітнім програмам може бути важко йти в ногу з

розвитком технологій і надавати студентам навички та знання, необхідні для досягнення успіху в цій галузі.

Підсумовуючи, сучасний стан підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства є неоднозначним, як з сильними, так і з слабкими сторонами поточних освітніх програм. Завдання для закладів вищої освіти полягає в тому, щоб знайти спосіб забезпечити здобувачів всебічною освітою, яка готує їх до вимог сучасного робочого середовища, а також залишаючись у курсі останніх технологічних досягнень і потреб промисловості.

Ключові проблеми, які постають перед підготовкою майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства і можливі шляхи їхнього подолання

Відсутність інтеграції між теоретичними знаннями та практичними навичками

Як було сказано вище, однією з найбільших проблем підготовки майбутніх спеціалістів у галузі наноматеріалознавства є відсутність інтеграції між теоретичними знаннями та практичними навичками [22]. Це призводить до того, що випускники добре розуміються на концепціях та принципах наноматеріалознавства, але не мають практичного досвіду та гнучких навичок, необхідних для застосування цих знань у реальних виробничих умовах [23]. В свою чергу це створює розрив між тим, що студенти вивчають в університеті, і тим, з чим вони стикаються на робочому місці, що призводить до труднощів у переході від академічної діяльності до професійної практики [24].

Щоб вирішити цю проблему, університетам важливо включити практичний лабораторний і промисловий досвід у свої навчальні програми [25]. Це може включати:

- партнерство з промисловістю та дослідницькими установами, щоб надати студентам можливість працювати над реальними проектами,
- участь у стажуваннях для отримання доступу до останніх досягнень і практик у цій галузі;
- включення інтерактивних методів навчання, таких як тематичні дослідження, проектне навчання та моделювання, що може допомогти

подолати розрив між теоретичними знаннями та практичними навичками.

Створюючи середовище, яке поєднує теоретичні знання з практичними навичками, навчальні заклади можуть краще підготувати майбутніх нанотехнологів до продуктивної діяльності, що стане передумовою успішної кар'єри та професійного визнання.

Врахування екологічних наслідків використання нанотехнологій при підготовці нанотехнологів

Використання нанотехнологій може впливати на навколишнє середовище різними способами, зокрема:

- виділення наночастинок у навколишнє середовище шляхом виробництва, використання та утилізації наноматеріалів і продуктів [26, 27];
- накопичення наночастинок у навколишньому середовищі, які можуть мати токсичну дію на рослини, тварин і мікроорганізми [28, 29];
- взаємодія наночастинок з іншими хімічними речовинами в навколишньому середовищі, що може призвести до нової та несподіваної токсичності та екологічних ризиків [30, 31];
- потенційний вплив на екосистеми та біорізноманіття [32, 33].

Важливо враховувати ці екологічні наслідки під час розробки, впровадження та використання нанотехнологій, щоб забезпечити їх безпечне та стійке застосування.

Екологічні наслідки використання нанотехнологій повинні бути включені в підготовку нанотехнологів, щоб переконатися, що майбутні фахівці оснащені знаннями та навичками для мінімізації потенційних негативних впливів. Наприклад, студенти можуть дізнатися про потенційний викид наночастинок у навколишнє середовище та їхній потенційний вплив на здоров'я людини та навколишнє середовище [34]. Крім того, курси можуть охоплювати розробку екологічно чистих виробничих процесів і методів безпечної утилізації наноматеріалів [35, 36]. Таким чином, нанотехнологи можуть приймати обґрунтовані рішення та розробляти стійкі рішення у своїй професійній практиці.

Етичні та соціальні наслідки використання нанотехнологій

Етичні та соціальні наслідки використання нанотехнологій є важливим аспектом підготовки спеціалістів у галузі наноматеріалознавства. Нанотехнології мають потенціал для досягнення значних успіхів у багатьох галузях, таких як медицина, енергетика, електроніка та матеріалознавство, але вони також піднімають низку етичних і соціальних питань, які необхідно розглянути [37, 38].

Наприклад, розробка та використання наноматеріалів може мати непередбачені наслідки для навколишнього середовища та здоров'я, такі як викид нанорозмірних частинок у навколишнє середовище, які можуть бути шкідливими для людини та екосистеми [39]. Швидкі темпи технологічного прогресу в цій галузі також породжують питання щодо доступу до технологій та розподілу їх переваг, а також потенціалу нових форм експлуатації та нерівного розподілу ресурсів [40, 41].

Щоб подолати ці етичні та соціальні наслідки, для майбутніх спеціалістів у галузі наноматеріалознавства важливо отримати підготовку з питань етики та соціальної відповідальності. Це може включати курси з етики, науки про навколишнє середовище та державну політику, а також можливості взаємодії з громадами та зацікавленими сторонами для розуміння соціальних наслідків нанотехнологій.

Включаючи сильний етичний та соціальний компонент у свою підготовку, майбутні спеціалісти в галузі науки про наноматеріали можуть бути краще підготовлені до прийняття обґрунтованих рішень, діяти чесно та сприяти відповідальному розвитку та використанню нанотехнологій.

Відставання освітніх програм від швидкого розвитку нанотехнологічної галузі

Галузь наук про наноматеріали швидко розвивається, і освітнім програмам може бути складно йти в ногу з останніми досягненнями та надавати студентам навички та знання, необхідні для досягнення успіху в цій галузі. Розробка нових матеріалів, методів і застосувань у сфері нанотехнологій відбувається набагато швидше, ніж здатність освітніх програм інтегрувати цю нову інформацію у свої навчальні програми [42, 43].

Як наслідок, багато освітніх програм з нанотехнологій можуть бути не в змозі надати студентам найновішу та відповідну інформацію, що може обмежити їхні можливості досягнення професійного успіху та виробничої ефективності. Крім

того, відсутність інтеграції між теоретичними знаннями та практичними навичками в галузі нанотехнологій може ускладнити студентам розвиток всебічного розуміння галузі та застосування своїх знань у практичних умовах [44].

Щоб вирішити ці проблеми, освітні програми з нанотехнологій повинні прийняти гнучкий та адаптивний підхід до своїх навчальних програм, включаючи нові розробки в галузі, щойно вони з'являться [45]. Це може включати партнерство з промисловістю та урядом, а також використання онлайн-ресурсів і нових педагогічних підходів [46, 47].

Обмежене залучення промисловості та стейкхолдерів до реалізації освітніх програм

Ще одним викликом у підготовці майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства є обмежене залучення промисловості та зацікавлених сторін до реалізації освітніх програм [46]. Це може призвести до розриву між навичками та знаннями, які студенти здобувають під час навчання, та реальними потребами та вимогами сучасної нанотехнологічної галузі [47].

Залучення промисловості та зацікавлених сторін до розробки та впровадження освітніх програм може допомогти подолати цю прогалину, гарантуючи, що навчальна програма відображає поточний стан галузі та навички та знання, які користуються великим попитом. Це також може надати студентам цінну інформацію про практичне застосування нанотехнологій і допомогти їм прийняти обґрунтовані рішення щодо своєї кар'єри.

Крім того, залучення промисловості та зацікавлених сторін також може допомогти надати майбутнім фахівцям можливості для практичного навчання та стажування, дозволяючи їм отримати практичний досвід і створити міцні професійні зв'язки. Це може бути особливо цінним для здобувачів, які зацікавлені в кар'єрі в галузі нанотехнологій.

Загалом, залучення промисловості та зацікавлених сторін до освітніх програм має вирішальне значення для того, щоб майбутні спеціалісти в галузі наноматеріалознавства були добре підготовлені до кар'єри в галузі, що швидко розвивається та швидко зростає [48]. З точки зору роботодавців, відсутність інтеграції між теоретичними знаннями та практичними навичками серед випускників програм з нанотехнологій може бути серйозною проблемою [49].

Роботодавці шукають осіб, які добре розуміють принципи нанотехнологій, а також мають практичний досвід і технічні навички, необхідні для застосування цих знань на робочому місці [50]. Коли освітні програми не поєднують ефективний баланс між теоретичними знаннями та практичними навичками, випускникам може бути важко відповідати очікуванням і вимогам галузі.

Обмежений доступ до ресурсів і обладнання

Обмежений доступ до ресурсів та обладнання може бути основною перешкодою у підготовці майбутніх нанотехнологів. Для того, щоб ефективно вивчати та застосовувати принципи нанотехнологій, студенти потребують доступу до найсучаснішого обладнання та ресурсів. Це включає доступ до лабораторного обладнання, передових технологій і матеріалів [51, 52].

Проте багатьом навчальним закладам важко встигати за швидкими темпами технологічного прогресу в галузі нанотехнологій. Це може призвести до того, що студенти навчатимуться на застарілому обладнанні або з використанням обмежених ресурсів, що може негативно вплинути на їх здатність розвивати необхідні компетентності.

Щоб вирішити цю проблему, ЗВО повинні тісно співпрацювати з галузевими партнерами для забезпечення здобувачам доступу до необхідних ресурсів і обладнання. Це може передбачати встановлення партнерства з галузевими організаціями, пошук можливостей фінансування або інвестування в розвиток нових об’єктів і обладнання.

Тут може стати у нагоді досвід закордонних університетів, які співпрацюють з промисловістю для збільшення ресурсів та обладнання, наприклад:

- Національна координована інфраструктура нанотехнологій (NNCI) надає доступ до загальнонаціональної мережі користувальницьких засобів, включаючи спільне обладнання та ресурси, для підтримки освіти та досліджень у галузі нанотехнологій.
- Національна мережа інфраструктури нанотехнологій (NNIN) Національного наукового фонду надає підтримку для розробки освітніх програм і ресурсів у галузі нанотехнологій, включаючи доступ до найсучасніших засобів і обладнання.
- Співпраця між галуззю та університетом, наприклад співпраця між IBM та Університетом Каліфорнії в Берклі для створення Науково-

дослідницького центру нанотехнологій IBM, надає студентам доступ до найсучасніших ресурсів і обладнання в реальних умовах.

- Створення галузевих академічних консорціумів, таких як Інститут виробництва Кембриджського університету у Великій Британії, надає студентам можливість працювати над реальними проектами та отримувати доступ до галузевих ресурсів і обладнання.

Це лише кілька прикладів того, як університети та промислові організації можуть працювати разом, щоб покращити ресурси та обладнання для майбутніх нанотехнологів. Співпрацюючи та використовуючи досвід і ресурси обох секторів, навчальні заклади можуть забезпечити підготовку студентів до успіху в галузі нанотехнологій для забезпечення конкурентоспроможності та сталого розвитку.

Дієві кроки, які дозволять суттєвим чином покращити програми підготовки майбутніх нанотехнологів

Підсумовуючи, підготовка майбутніх спеціалістів у галузі наноматеріалознавства стикається з кількома суттєвими проблемами, включаючи відсутність інтеграції між теоретичними знаннями та практичними навичками, недостатню увагу до етичних і соціальних наслідків, швидкий розвиток технологій, обмежене залучення промисловості до освітніх програм, обмежений доступ до ресурсів і обладнання. Вирішення цих проблем матиме вирішальне значення для того, щоб майбутні наноінженери були добре підготовлені до вимог сучасного робочого місця нанотехнологічної галузі.

Тож, застосування деяких дієвих кроків дозволить суттєвим чином покращити програми підготовки майбутніх нанотехнологів (таблиця 1.6)

Застосовуючи міждисциплінарні підходи, використовуючи передові технології, заохочуючи співпрацю з підприємствами, покращуючи міжнародну співпрацю та сприяючи культурі безперервного навчання, вищі навчальні заклади можуть допомогти підготувати майбутніх нанотехнологів до вимог сучасного робочого місця та гарантувати, що вони створять значний вплив у сфері нанотехнологій.

Підсумовуючи, ефективна підготовка майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства потребує цілісного підходу, який поєднує теоретичні знання, практичні навички, етичну свідомість та практичний досвід.

Таблиця 1.6 - Дієві кроки, які дозволять суттєвим чином покращити програми підготовки майбутніх нанотехнологів

Застосування міждисциплінарних підходів	міждисциплінарні підходи, які об'єднують експертів з різних галузей, таких як матеріалознавство, хімія, фізика та інженерія, можуть допомогти забезпечити більш повний та інтегрований освітній досвід для студентів
Використання передових технологій	використання передових технологій, таких як засоби моделювання, методи візуалізації та інші передові методи, може надати студентам практичний досвід роботи з новітніми технологіями та допомогти їм бути в курсі подій у цій галузі
Заохочення до співпраці підприємництв для впровадження інновацій	заохочення підприємництва шляхом надання студентам можливостей для реалізації власних проектів і розробки нових технологій може сприяти розвитку духу творчості та інновацій серед майбутніх нанотехнологів
Покращення міжнародного співробітництва	покращення міжнародного співробітництва шляхом надання студентам можливостей працювати з міжнародними партнерами може допомогти розширити їхні перспективи та забезпечити доступ до передових досліджень і технологій
Розвиток культури безперервного навчання	сприяння розвитку культури безперервного навчання шляхом надання студентам можливостей продовжувати освіту та професійний розвиток після закінчення навчання може допомогти переконатися, що вони залишаються в курсі останніх подій у галузі та продовжують робити значний вплив у сфера нанотехнологій

Розглядаючи ці ключові сфери, освітні програми можуть краще підготувати студентів до успішної кар'єри в індустрії нанотехнологій, яка розвивається надшвидкими темпами.

Майбутні дослідження підготовки наноінженерів до професійної діяльності можуть бути зосереджені на таких напрямках:

- інтеграція етичних, соціальних та екологічних міркувань у освіту наноінженерів;
- розробка нових методів навчання та дидактичних засобів для сприяння практичному досвіду та співпраці між академічними та промисловими колами;
- оцінка ефективності сучасних освітніх програм у підготовці наноінженерів до потреб робочої сили;
- дослідження нових моделей навчання, які враховують швидкі темпи технологічних змін у галузі нанотехнологій;
- дослідження впливу глобальних трендів, таких як цифрова трансформація та зростаючий попит на стійкість, на підготовку наноінженерів до професійної діяльності;
- вивчення впливу нових технологій, таких як штучний інтелект і машинне навчання, на майбутню робочу силу та підготовку наноінженерів;

- вивчення ролі міждисциплінарного навчання та співпраці між різними галузями, такими як матеріалознавство, біологія фізика та хімія, у підготовці наноінженерів до професійної діяльності.

Література

1. Suchikova Y. O., Bogdanov I. T., Kovachov S. S., Kamensky D. V., Myroshnychenko V. O., Panova N. Y. Optimal ranges determination of morphological parameters of nanopatterned semiconductors quality for solar cells // Archives of Materials Science and Engineering. 2020. 101(1).
2. Suchikova Y. Provision of environmental safety through the use of porous semiconductors for solar energy sector // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. 6(5). P. 26–33.
3. Suchikova Y., Kovachov S., Lazarenko A., Bohdanov I. Research of synthesis conditions and structural features of heterostructure AlXGa1-XAs/GaAs of the “desert rose” type // Applied Surface Science Advances. 2022. 12. 100327.
4. Suchikova Y., Kovachov S., Bohdanov I. Formation of oxide crystallites on the porous GaAs surface by electrochemical deposition // Nanomaterials and Nanotechnology. 2022. 12.
5. Emerich D. F., Thanos C. G. Nanotechnology and medicine // Expert opinion on biological therapy. 2003. 3(4). P. 655-663.
6. Singh A., Amiji M. M. Application of nanotechnology in medical diagnosis and imaging // Current Opinion in Biotechnology. 2022. 74. P. 241-246.
7. Tundisi L. L., Ataide J. A., Costa J. S., Coêlho D. F., Liszbinski R. B., Lopes A. M., ... Mazzola P. G. Nanotechnology as a tool to overcome macromolecules delivery issues // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2022. 113043.
8. Verma S. K., Suar M., Mishra Y. K. Green Perspective of Nano-Biotechnology: Nanotoxicity Horizon to Biomedical Applications // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2022. 10.
9. Suchikova Y., Shishkin G., Bardus I., Skurska M., Starostenko K. Training Prospective Nanotechnologists to Select Optimum Solutions for the Nanostructures Synthesis Using the Analytic Hierarchy Process // TEM Journal. 2021. 10(4). P. 1796–1802.
10. Suchikova Y., Bohdanov I., Kovachov S., ... Lazarenko A., Shishkin G. Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis // 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2021 - Proceedings. 2021. P. 584–588.
11. Light Feather J., Aznar M. F. Nanoscience Education, Workforce Training, and K-12 Resources. CRC Press. 2018. URL: https://doi.org/10.1201/9781315219417.
12. Souzanchi Kashani E., Zarghami H. R. The dynamics of university-industry-government relationships in Nanoscience: investigating the Triple-Helix differences between Iran and Switzerland // Technology Analysis & Strategic Management. 2018. 31(7). P. 817–832. URL: https://doi.org/10.1080/09537325.2018.1554859.
13. Şenel Zor T., Aslan O. The effect of activity-based nanoscience and nanotechnology education on pre-service science teachers’ conceptual understanding // Journal of Nanoparticle Research. 2018. 20(3). URL: https://doi.org/10.1007/s11051-018-4182-x.
14. Singh R. P., Rai A. R., Jotania R. B., Chaudhary R. G., Abdala A. Rationale and trends of applied nanotechnology // Biogenic Sustainable Nanotechnology. Elsevier. 2022. P. 373–389. URL: https://doi.org/10.1016/b978-0-323-88535-5.00008-1.
15. Ma Y. New progress in international nanotechnology research in the past ten years – visual analysis based on CitesSpace // Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering. 2022. 22(1). P. 265–277. URL: https://doi.org/10.3233/jcm-215639.
16. Ali A., Qasim M., Dilawar M. U., Khan Z. F., Jadoon Y. K., Faiz T. Nanorobotics: Next level of Military Technology // 2022 International Conference on Business Analytics for Technology and Security (ICBATS). IEEE. 2022. URL: https://doi.org/10.1109/icbats54253.2022.9759048.

17. Ayeni A. O., Oladokun O., Orodu O. D. Advanced Manufacturing in Biological, Petroleum, and Nanotechnology Processing. Springer International Publishing. 2022. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-95820-6.
18. TAN Ş., IPEK Z., ATİK A. D., ERKOÇ F. Examining the Invariance of a Measurement Model of Teachers' Awareness and Exposure Levels to Nanoscience by Using the Covariance Structure Approach // International Journal of Assessment Tools in Education. 2021. P. 487–508. URL: https://doi.org/10.21449/ijate.828459.
19. Lukishova S. G., Bigelow N. P. Undergraduate program in nanoscience and nanoengineering: five years after the National Science Foundation grant including two pandemic years // Optical Engineering. 2022. Vol. 61, Issue 8, 081810. URL: https://doi.org/10.1117/1.OE.61.8.081810.
20. Jackman J. A., Cho D.-J., Lee J., Chen J. M., Besenbacher F., Bonnell D. A., Hersam M. C., Weiss P. S., Cho N.-J. Nanotechnology Education for the Global World: Training the Leaders of Tomorrow // ACS Nano. 2016. 10, 6. P. 5595–5599. URL: [https://doi.org/10.1021/acsnano.6b03872](https://doi.org/10.1021
21. Lukishova S. G., Bigelow N. P. Undergraduate program in nanoscience and nanoengineering: five years after the National Science Foundation grant including two pandemic years // Optical Engineering. 2022. 61(8). 081810-081810.
22. Friedersdorf L. E. Developing the workforce of the future: how the national nanotechnology initiative has supported nanoscale science and engineering education in the United States // IEEE Nanotechnology Magazine. 2020. 14(4). P. 13-20. URL: https://doi.org/10.1109/MNANO.2020.2994799.
23. Roco M. C. The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years // Journal of Nanoparticle Research. 2011. 13. P. 427-445. URL: https://doi.org/10.1007/s11051-010-0192-z.
24. Spicer J. B. The Landscape of Nanotechnology Education [Guest Editorial] // IEEE Nanotechnology Magazine. 2020. 14(4). P. 12-12. URL: https://doi.org/10.1109/MNANO.2020.2994800.
25. Tan R. P., Rouabhi C., Capello C., Schauber J., Grisolia J., Claverie A., ... Respaud M. Practical works on nanotechnology: middle school to undergraduate students // IEEE Nanotechnology Magazine. 2020. 14(4). P. 21-28.
26. Vambol S., Vambol V., Bogdanov I., Suchikova Y., Rashkevich N. Research of the influence of decomposition of wastes of polymers with nano inclusions on the atmosphere // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 6(10-90). P. 57–64.
27. Vambol S., Vambol V., Kondratenko O., Koloskov V., Suchikova Y. Substantiation of expedience of application of high-temperature utilization of used tires for liquefied methane production // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2018. 87(2). P. 77–84.
28. Vambol S., Vambol V., Suchikova Y., Deyneko N. Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 1(10-85). P. 27–36.
29. Vambol S., Vambol V., Kondratenko O., Suchikova Y., Hurenko O. Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arranging the system of pollutant neutralization // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. 3(10-87). P. 63–73.
30. Suchikova Y.O. Sulfide passivation of indium phosphide porous surfaces // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2017. 9(1). 01006.
31. Bundschuh M., Filser J., Lüderwald S., McKee M. S., Metreveli G., Schaumann G. E., ... Wagner S. Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to? // Environmental Sciences Europe. 2018. 30(1). P. 1-17.
32. Bundschuh M., Seitz F., Rosenfeldt R. R., Schulz R. Effects of nanoparticles in fresh waters: risks, mechanisms and interactions // Freshwater Biology. 2016. 61(12). P. 2185-2196.
33. Morales-Díaz A. B., Ortega-Ortíz H., Juárez-Maldonado A., Cadenas-Pliego G., González-Morales S., Benavides-Mendoza A. Application of nanoelements in plant nutrition and its impact in ecosystems // Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology. 2017. 8(1). 013001.

34. Wiesner M. R., Bottero J. Y. Environmental nanotechnology: applications and impacts of nanomaterials. McGraw-Hill Education. 2017.
35. Johnston L. J., Gonzalez-Rojano N., Wilkinson K. J., Xing B. Key challenges for evaluation of the safety of engineered nanomaterials // NanoImpact. 2020. 18. 100219.
36. Amoabediny G. H., Naderi A., Malakootikhah J., Koohi M. K., Mortazavi S. A., Naderi M., Rashedi H. Guidelines for safe handling, use and disposal of nanoparticles. In Journal of physics: conference series. IOP Publishing. 2009, May. Vol. 170, No. 1. P. 012037.
37. Allhoff F., Lin P., Moor J. H., Weckert J. Nanoethics: the ethical and social implications of nanotechnology. John Wiley & Sons. 2007.
38. Khan A. S. (Ed.). Nanotechnology: ethical and social implications. CRC Press. 2012.
39. Lin P., Moore D., Allhoff F. What is nanotechnology and why does it matter?: from science to ethics. John Wiley & Sons. 2009.
40. Roco M. C., Bainbridge W. S. Societal implications of nanoscience and nanotechnology: Maximizing human benefit // Journal of Nanoparticle Research. 2005. 7. P. 1-13.
41. Bennett-Woods D. Nanotechnology: Ethics and society. CRC press. 2018.
42. Jones M. G., Blonder R., Gardner G. E., Albe V., Falvo M., Chevrier J. Nanotechnology and nanoscale science: Educational challenges // International Journal of Science Education. 2013. 35(9). P. 1490-1512.
43. Jackman J. A., Cho D. J., Lee J., Chen J. M., Besenbacher F., Bonnell D. A., ... Cho N. J. Nanotechnology education for the global world: training the leaders of tomorrow. 2016.
44. Greenberg A. Integrating nanoscience into the classroom: perspectives on nanoscience education projects // ACS Nano. 2009. 3(4). P. 762–769. URL: https://doi.org/10.1021/nn900335r.
45. Bauer J. Teaching nanotechnology through research proposals // J. Chem. Educ. 2021. 98(7). P. 2347–2355. URL: https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01251.
46. Park E. J. Nanotechnology course designed for non-science majors to promote critical thinking and integrative learning skills // J. Chem. Educ. 2019. 96(6). P. 1278–1282. URL: https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00490.
47. Shabani R. et al. Classroom modules for nanotechnology undergraduate education: development, implementation, and evaluation // Eur. J. Eng. Educ. 2011. 36. P. 199. URL: https://doi.org/10.1080/03043797.2011.573536.
48. Rosen D. J., Kelly A. M. Working together or alone, near, or far: social connections and communities of practice in in-person and remote physics laboratories // Phys. Rev. Phys. Educ. Res. 2022. 18. 010105. URL: https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.010105.
49. Hill P. J. et al. Multidisciplinary undergraduate nanotechnology education at Mississippi State University // J. Nano Educ. 2013. 5(2). P. 124–134. URL: https://doi.org/10.1166/jne.2013.1056.
50. Hill P. J. et al. A multidisciplinary undergraduate nanotechnology education program with integrated laboratory experience. In 120 ASEE Annu. Conf. Exposition. 2015. 12686.
51. Suchikova Y., Vambol S., Vambol V., Mozaffari N. Justification of the most rational method for the nanostructures synthesis on the semiconductors surface // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. 2019. 92(1-2). P. 19-28.
52. Suchikova Y. O., Kovachov S. S., Shishkin G. O., Pimenov D. O., Lazarenko A. S., Bondarenko V. V., Bogdanov I. T. Functional model for the synthesis of nanostructures of the given quality level // Archives of Materials Science and Engineering. 2021. 107(2).

1.5. Модель контекстної системної фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Аналіз професійної діяльності та стану фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства в Україні та за її межами дозволив виявити низку проблем і відповідних суперечностей, які існують у сучасній системі вищої освіти у цій галузі. У цьому розділі ми узагальнюємо ці проблеми та визначаємо можливі шляхи їх розв'язання.

Перша ключова проблема полягає у необхідності адаптації освітньої системи до швидких змін та інновацій у галузі наноматеріалознавства. За традиційної системи навчання передати студентам новітні наукові здобутки виявляється непросто, оскільки інформація швидко застаріває, а це призводить до відставання освітньої програми від потреб сучасного виробництва та досліджень. Ця проблема створює суперечність між вимогами суспільства до сучасного фахівця у галузі наноматеріалознавства, здатного створювати інноваційні матеріали та технології, та його реальною професійною підготовкою.

На нашу думку, розв’язати цю проблему можливо, навчаючи студентів новим перспективним напрямкам у галузі наноматеріалів, акцентуючи увагу на розвитку їхньої здатності до інноваційного мислення та вирішення складних дослідницьких завдань.

Друга проблема пов'язана з появою нових спеціалізацій у галузі наноматеріалознавства, для яких не завжди існують відповідні навчальні програми в університетах. Це призводить до суперечності між потребами ринку праці у різноманітних профілях фахівців із наноматеріалів та обмеженістю освітніх програм, які могли б готувати таких спеціалістів. Розв’язання цієї проблеми вимагає розробки та впровадження нових, гнучких навчальних програм, які б відповідали сучасним вимогам і тенденціям у галузі.

Розв’язання цих проблем у галузі наноматеріалознавства можливе через навчання студентів фундаментальним законам і теоріям, які лежать в основі розвитку цієї галузі, а також через інтеграцію нанотехнологій з іншими суміжними галузями науки та техніки. Подібний підхід дозволить студентам не лише зрозуміти основи та принципи, на яких базуються сучасні технології, але й надасть їм здатність до творчого розвитку та інновацій у майбутній професійній діяльності.

Сьогодні в освітньому процесі спостерігається тенденція до зосередження на

наслідках і практичному застосуванні фундаментальних теорій, що часто призводить до переважно репродуктивного характеру навчання. Професійна діяльність фахівця у галузі наноматеріалознавства вимагає глибокого розуміння основних законів і теорій, а також уміння застосовувати ці знання для розробки нових матеріалів і технологій. Отже, існує суперечність між репродуктивним характером освіти та потребою у творчому та продуктивному підході в професійній діяльності.

Розв'язання цієї проблеми передбачає навчання студентів не тільки удосконалювати вже існуючі матеріали і технології, але й розробляти нові на основі фундаментальних принципів [1 - 11]. Це вимагає, щоб логіка навчального матеріалу в галузі наноматеріалознавства відображала зв'язок між фундаментальними теоріями, методами дослідження, логічними висновками про наслідки та їх практичне застосування.

Крім того, існування перелічених вище проблем і суперечностей в сучасній системі вищої освіти з наноматеріалознавства підкреслює необхідність фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців цієї галузі. Така фундаменталізація повинна включати як глибоке розуміння базових наукових принципів, так і розвиток навичок для інноваційної діяльності.

Отже, результати проведеного аналізу в галузі наноматеріалознавства вказують на те, що традиційні методичні системи підготовки майбутніх фахівців часто страждають від фрагментарності у профілізації загальнонаукових дисциплін та відсутності системності у фундаменталізації спеціалізованих дисциплін. Такий підхід призводить до зниження ефективності професійної підготовки, що обмежує здатність фахівців до репродуктивної та продуктивної діяльності у цій швидкозмінній галузі.

Враховуючи це, основна проблема дослідження полягає у підвищенні якості професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, що вимагає збільшення рівня їх професійної компетентності.

Професійна компетентність фахівця у галузі наноматеріалознавства включає в себе не лише глибокі знання фундаментальних філософських, природничих та математичних основ, але й уміння застосовувати ці знання для розробки нових матеріалів і технологій. Це вимагає розроблення методичної системи підготовки, яка б ефективно моделювала реальну професійну діяльність у галузі, включаючи вивчення, удосконалення та створення нових наноматеріалів та нанотехнологій на

основі фундаментальних знань.

Такий підхід передбачає не лише передачу знань, але й активне залучення студентів до процесу дослідження та розвитку, що є важливим для їх здатності до інновацій та креативного вирішення проблем. В цьому контексті ключовим стає питання про розроблення та впровадження таких освітніх програм, які б забезпечували глибоке розуміння та практичне застосування фундаментальних наукових принципів у реальних умовах роботи з наноматеріалами.

Аналіз робіт, присвячених теоретичним та методичним засадам фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, дозволив визначити кілька ключових напрямів досліджень. Серед них:

1. Фундаменталізація базових природничих дисциплін, таких як фізика, хімія та математика, які є важливими для розуміння властивостей і поведінки наноматеріалів.
2. Фундаменталізація специфічного змісту наноматеріалознавства, яка базується на інтеграції кількох загальнонаукових дисциплін. Наприклад, інтеграція хімії та фізики для розуміння хіміко-фізичних властивостей наноматеріалів.
3. Фундаменталізація змісту, методів, дидактичних засобів та форм навчання у галузі наноматеріалознавства на основі передових наукових та технічних досягнень, включаючи сучасні інформаційні технології.

На нашу думку, підходи, засновані лише на фундаменталізації окремих природничих або математичних дисциплін, не є достатньо ефективними для підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства. Вони не враховують комплексність та інтердисциплінарність сучасного наноматеріалознавства, що включає не тільки фундаментальні знання, але й практичні навички роботи з наноматеріалами. Крім того, необхідно враховувати роль філософії та системного аналізу у формуванні комплексного розуміння галузі та розвитку професійної компетентності фахівців, які здатні не тільки використовувати існуючі матеріали та технології, але й розробляти нові.

Отже, існує необхідність у розробленні комплексної методичної системи підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства, яка б інтегрувала глибокі фундаментальні знання з практичними навичками та інноваційним мисленням.

Інтеграція тріади філософсько-природничо-математичних законів, теорій і

категорій з концептами наноматеріалознавства є ключовою для системної фундаменталізації дисциплін у цій галузі (рис. 1.5). Такий підхід дозволить досягти глибокого і цілісного розуміння принципів та механізмів, що лежать в основі наноматеріалів та нанотехнологій.

На нашу думку, для забезпечення неперервності фундаменталізації дисциплін у галузі наноматеріалознавства необхідно здійснити системну інтеграцію загальнонаукових та спеціалізованих дисциплін. Це передбачає контекстне обгрунтування концептів наноматеріалознавства на основі відповідних філософських, природничих і математичних законів, теорій і категорій.

Така інтеграція дозволить здійснити контекстну системну фундаменталізацію кожного елементу змісту дисциплін у галузі наноматеріалознавства. Відповідно до запропонованої концепції, така системна фундаменталізація забезпечується шляхом інтеграції філософських, математичних та природничих знань з кожним концептом наноматеріалознавства. Це дозволить студентам не лише зрозуміти основні принципи та теорії, але й застосувати ці знання для розробки нових матеріалів і технологій, сприяючи їхньому творчому мисленню та інноваційній діяльності.

Рисунок 1.5 - Модель контекстної системної фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства

Ідея фундаменталізації професійної підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства полягає в здатності студентів вбачати єдину сутність у різноманітних явищах, яка базується на фундаментальних законах і принципах наноматеріалознавства. Це включає здатність від одного фундаментального закону, теорії чи категорії розгортати розуміння багатьох явищ та застосувань у галузі наноматеріалів.

Системна інтеграція фундаментальних філософських, природничих та математичних понять з концептами наноматеріалознавства повинна здійснюватися у два етапи: по-перше, через конкретизацію фундаментальних знань у контексті принципів дії і застосування наноматеріалів; по-друге, через теоретичне обгрунтування кожного нового концепту у галузі на основі існуючих філософських, математичних та природничих законів і теорій.

Концептуальна ідея цього дослідження може служити основою для загальної гіпотези, що якість професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства підвищиться за умови розроблення методичної системи, яка базується на контекстній системній фундаменталізації дисциплін. Реалізація цієї гіпотези передбачає, що фундаменталізація стане ключовою умовою ефективної підготовки фахівців, а інтеграція фундаментальних і спеціалізованих знань забезпечить їхню готовність до репродуктивної та продуктивної професійної діяльності. Це дозволить студентам не лише засвоїти базові знання, але й ефективно застосовувати їх у реальних ситуаціях, сприяючи їхньому професійному розвитку та інноваційній діяльності.

Можемо сформулювати часткові припущення, які передбачають, що підвищення результативності підготовки майбутніх фахівців у цій галузі є можливим, якщо:

- Метою підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства до майбутньої професійної діяльності є формування комплексних компетентностей, які охоплюють проектну, технологічну, експлуатаційну та науково-дослідну діяльність. Ці компетентності мають базуватися на фундаментальних філософських, природничих та математичних законах, теоріях та категоріях, які є основою наноматеріалів та нанотехнологій.

- Зміст професійної підготовки має бути заснований на глибокому розумінні загальнонаукових дисциплін, інтегрованих з контекстно систематизованим змістом спеціалізованих дисциплін наноматеріалознавства.
- Методи та засоби професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства повинні включати алгоритми управління репродуктивною та продуктивною навчально-пізнавальною діяльністю. Це означає, що студенти повинні вчитися застосовувати, удосконалювати та розробляти нові матеріали та технології на основі фундаментальних законів, теорій і понять.
- Важливим є комплексне використання форм організації репродуктивної та продуктивної навчально-пізнавальної діяльності, які мають бути підпорядковані розробленим цілям, змісту, методам та засобам методичної системи контекстної системної фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Ці припущення вказують на необхідність інтегрованого та глибокого підходу до навчання, який забезпечить майбутнім фахівцям не лише теоретичні знання, але й практичні навички, необхідні для ефективної роботи у сучасній галузі наноматеріалознавства.

Література:

1. Бардус І. О. Фундаменталізація професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі інформаційних технологій до продуктивної діяльності: монографія / І. Бардус. – Харків: ПромАрт, 2018. – 393 с.
2. Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників. Вип. 1. Професії працівників, що є загальними для всіх видів економічної діяльності. Розділ 1. Професії керівників, професіоналів, спеціалістів та технічних службовців / уклад. Я. Кавторєва. – Харків: Фактор, 2008. – 384 с.
3. Професії. Інженер-нанотехнолог. [Електронний ресурс] – URL: https://osvita.ua/proforientation/profession/74269/
4. Салов В.О. Основи педагогіки вищої школи Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. 183 с.
5. Сичікова Я.О. Науково-методологічні засади оцінювання якості й властивостей наноструктур на поверхні напівпровідників: дис… доктора тех. наук: 05.01.02. Бердянський державний педагогічний університет; Національний науковий центр «Інститут метрології» Міністерства економічного розвитку і торгівлі України. Харків, 2018. 442 с.
6. Хоменко В. Г. Теоретичні та методичні засади проектування дуального змісту професійної підготовки майбутніх інженерів-педагогів комп'ютерного профілю : монографія. Бердянськ:

БДПУ, 2015. 473 с.
7. Suchikova Y., Bohdanov I., Kovachov S., Bardus I., Lazarenko A. and Shishkin G. *Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis*. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (August 26 – 28, 2021). Lviv. P.p. 584-588.
8. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I., ... Kenzhina, I., & Popov, A.I. Electrochemical Growth and Structural Study of the AlxGa1−xAs Nanowhisker Layer on the GaAs Surface. Journal of Manufacturing and Materials Processing, . 2023. 7(5), 153.
9. Suchikova Y., Kovachov S., Bohdanov I., ... Pankratov V., Popov A.I. Study of the structural and morphological characteristics of the CdxTeyOz nanocomposite obtained on the surface of the CdS/ZnO heterostructure by the SILAR method // Applied Physics A: Materials Science and Processing. 2023. 129(7). P. 499.
10. Suchikova Y., Kovachov S., Bohdanov I., ... Moskina A., Popov A. Characterization of CdxTeyOz/CdS/ZnO Heterostructures Synthesized by the SILAR Method // Coatings. 2023. 13(3). P. 639.
11. Kovachov S., Bohdanov I., Suchikova Y. Nano or Na-No? Ukraine's crisis of opportunity in nanotechnology education // Industry and Higher Education. 2023.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИЧНА СИСТЕМА СИСТЕМНОЇ ФУНДАМЕНТАЛІЗОВАНОЇ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

2.1. Моделі цілей та змісту системної фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Цілі навчання у галузі наноматеріалознавства повинні бути чітко визначені і орієнтовані на розвиток специфічних знань та навичок, необхідних у цій галузі [1 - 6]. Вони повинні включати:

- розуміння фундаментальних принципів фізики, хімії та математики, що лежать в основі наноматеріалів;
- здатність інтегрувати ці фундаментальні знання у розвиток і застосування наноматеріалів та нанотехнологій;
- розвиток навичок критичного мислення та інноваційного підходу до розв'язання складних завдань у галузі.

Зміст навчальних програм у галузі наноматеріалознавства повинен бути комплексним та багатогранним, охоплюючи як теоретичні, так і практичні аспекти. Він повинен включати:

- основні курси, які покривають фундаментальні аспекти фізики, хімії та математики;
- спеціалізовані курси, які зосереджуються на конкретних аспектах наноматеріалів та нанотехнологій, включаючи їх синтез, характеризацію та застосування;
- модулі, які розглядають сучасні тенденції та інновації у галузі, забезпечуючи студентам знання, актуальні для сучасного ринку праці.

Важливим аспектом навчального процесу є інтеграція теоретичних знань з практичними навичками. Це може бути реалізовано через:

- лабораторні роботи та практичні заняття, де студенти мають можливість застосовувати теоретичні знання у реальних дослідженнях;
- проектну роботу, де студенти працюють над реальними завданнями, сприяючи їх творчому розвитку та інноваційному мисленню;

- стажування та практики у ведучих науково-дослідних центрах та компаніях, де студенти можуть здобути цінний досвід роботи у галузі.

У контексті системної фундаменталізованої професійної підготовки, ключовою характеристикою професійної компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства є здатність до застосування фундаментальних філософсько-природничо-математичних та галузевих законів, теорій і категорій у розробці, удосконаленні та створенні нових зразків наноматеріалів і технологій.

Ця здатність формується протягом усього періоду навчання через три етапи (таблиця 2.1)

Таблиця 2.1 – Етапи формування професійних компетентностей у майбутніх фахівців з наноматеріалознавства

№ етапу	Назва	Фокус
1	*Профілізація загальнонаукових дисциплін*	На цьому етапі основна увага приділяється фундаментальним наукам, які є основою для розуміння принципів роботи з наноматеріалами
2	*Поточна галузева фундаменталізація*	На цьому етапі акцент робиться на оволодінні та удосконаленні базових знань та навичок у галузі наноматеріалів
3	*Перспективна галузева фундаменталізація*	На цьому етапі фокус зміщується на розвиток здатності до створення нових видів наноматеріалів і технологій

Залежно від етапу реалізації методичної системи, формування компетентностей у майбутніх фахівців здійснюється через досягнення визначених цілей на кожному з цих етапів. Перший етап зосереджується на формуванні фундаментальних знань, другий етап на оволодінні та удосконаленні базових навичок, а третій етап на розвитку здатності до інновацій та створення нових рішень у галузі наноматеріалознавства (рис. 2.1).

Рисунок 2.1 - Модель цілей фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Основна мета фундаменталізованої професійної підготовки в галузі наноматеріалознавства полягає у формуванні комплексної компетентності, яка включає проектні, технологічні, організаційно-управлінські та науково-дослідні аспекти (таблиця 2.2). Ця мета досягається через три етапи навчання, кожен з яких спрямований на розвиток визначених аспектів компетентності.

Кожен етап має свої унікальні цілі та методи навчання, які в сукупності забезпечують всебічне формування професійних компетенцій. Цілісний підхід до навчання, що охоплює теоретичні знання, практичні навички та інноваційну діяльність, є ключовим для підготовки висококваліфікованих фахівців у галузі наноматеріалознавства. На базі раніше розробленої моделі цілей фундаменталізованої професійної підготовки, ми створюємо модель змісту навчання, яка відповідає етапам реалізації методичної системи. Ця модель містить кілька ключових компонентів, що забезпечують глибоке засвоєння необхідних знань і навичок у галузі наноматеріалознавства (таблиця 2.3).

Таблиця 2.2 – Компоненти фундаменталізованої професійної підготовки в галузі наноматеріалознавства

№	Необхідні компоненти	Цілі
1	Розробка курсів, які охоплюють основні наукові принципи, включаючи квантову фізику, хімічну структуру, матеріалознавство	Забезпечити здобувачів здатністю до аналітичного мислення та розуміння наукових основ наноматеріалів
2	Спеціалізовані лабораторні курси, практичні заняття, майстер-класи від провідних фахівців у галузі	Розвиток умінь оволодіння технічними засобами та методиками, необхідними для роботи з наноматеріалами
3	Проекти науково-дослідного характеру, співпраця з науково-дослідними лабораторіями та індустрією	Розвиток креативності, гнучкості, критичного мислення та здатності до самостійного прийняття рішень, що є ключовими для продуктивної діяльності в галузі

Таблиця 2.3 – Модель змісту навчання майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства

Компоненти моделі змісту	Курси	Цілі
Базові фундаментальні дисципліни	Фізика, хімія, математика як основа для розуміння властивостей і поведінки наноматеріалів	Введення в наноматеріалознавство та основні принципи роботи з наноматеріалами
Спеціалізовані курси	Курси, присвячені синтезу, характеризації та застосуванню наноматеріалів	Поглиблене вивчення сучасних напрямків та інновацій у галузі нанотехнологій
Практичні заняття та лабораторні роботи	Реалізація здобутих знань у практичних задачах, лабораторних експериментах	Розвиток навичок роботи з сучасним обладнанням та техніках дослідження наноматеріалів
Інтеграція з технологічними інноваціями	Курси, що включають останні досягнення у галузі, тенденції розвитку технологій	Залучення студентів до проектів з дослідження і розробки нових наноматеріалів

Проектна та науково-дослідна робота	Створення умов для самостійного наукового дослідження та проектної діяльності	Розвиток навичок критичного мислення, креативності та інноваційного підходу
Міждисциплінарні курси	Курси, що забезпечують інтеграцію знань з різних дисциплін для повного розуміння складності та потенціалу наноматеріалів	Розширення перспектив та підготовка до роботи в міждисциплінарних командах

У моделі змісту фундаменталізованої професійної підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства відображено три ключові етапи навчального процесу. Перший етап зосереджений на профілізації загальнонаукових дисциплін, де студенти вивчають основи фізики, хімії та математики. Це необхідно для формування базового розуміння фундаментальних законів природи, які лежать в основі наноматеріалів. На цьому етапі важливим є розвиток аналітичних здібностей та здатності застосовувати теоретичні знання у професійній діяльності.

Другий етап, поточна галузева фундаменталізація, фокусується на спеціалізованих курсах, що охоплюють синтез, характеризацію та застосування наноматеріалів. Тут студенти розвивають конкретні навички та глибше розуміння сучасних методів роботи з наноматеріалами. Цей етап включає інтенсивні практичні заняття, лабораторні роботи та проектну діяльність, що допомагає студентам засвоїти знання на практиці.

Третій етап, перспективна галузева фундаменталізація, направлений на розвиток здатності до інноваційного мислення і створення нових наноматеріалів. Цей етап включає роботу над науково-дослідними проектами, співпрацю з лабораторіями та індустрією, а також розвиток навичок критичного мислення, креативності та самостійного прийняття рішень. Це сприяє формуванню здатності до продуктивної професійної діяльності у галузі наноматеріалознавства, що є кінцевою метою цієї моделі підготовки.

Модель змісту навчання структурована згідно з трьома етапами, кожен з яких відповідає специфічним цілям та завданням у процесі підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства представлена на рис. 2.2

Забезпечення системності фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства реалізовано на основі представлення чіткої, послідовної і інтегрованої структури навчання, яка охоплює всі аспекти від базових наукових дисциплін до спеціалізованих практичних застосувань. Ця система розроблена таким чином, щоб кожен етап навчання плавно переходив до наступного, забезпечуючи глибоке і всебічне розуміння галузі.

Рисунок 2.2 - Модель змісту фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства

Пропонована модель змісту фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців забезпечує комплексний підхід до навчання, який включає розвиток теоретичних знань, практичних навичок та інноваційного мислення. Це досягається через інтеграцію фундаментальних наукових принципів з сучасними методами дослідження та розробки в галузі наноматеріалів. Така підготовка покликана готувати фахівців, здатних не тільки застосовувати існуючі знання, але й вносити вклад у розвиток галузі через інновації та наукові дослідження.

Розроблений зміст фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців забезпечить всебічне та глибоке засвоєння необхідних знань і навичок у галузі наноматеріалознавства. Ця підготовка охоплює широкий спектр від фундаментальних наукових основ до передових технологій і методик, що є

критично важливими для розвитку та інновацій у цій швидкозмінній і високотехнологічній галузі.

Література

1. Yana Suchikova, Sergii Kovachov, Ihor Bohdanov, Tetyana Nestorenko. Improving the level of readiness of future nanoengineers to carry out productive activities: technologies and tools for asynchronous learning Digitalization and information society. Selected issues. Series of monographs. Monograph 53. Publishing House of University of Technology, Katowice, 2022, p. 227-236
2. Косогов І., Шишкін Г. Практична спрямованість навчання фізики в закладах середньої освіти. Монографія. Освіта України, 2022, 265 с.
3. Yana Suchikova, Sergii Kovachov, Ihor Bohdanov, Tetyana Nestorenko. Formation of future nanotechnologists' ability to modify and adapt educational and methodical as well as scientific and methodological support for innovation. VZDELÁVANIE A SPOLOČNOSŤ VII.Medzinárodný nekonferenčný zborník. PREŠOV 2022. p.113-118
4. Бардус І. О., Ковачов С. С., Богданов І. Т., Сичікова Я. О. Професійна діяльність фахівця в галузі наноматеріалознавства зі створення наноструктур на поверхні напівпровідників. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Вип. 1. 2022. С.55-64.
5. Бардус І.О., Ковачов С.С., Богданов І. Т. , Сичікова Я. О. Професійна компетентність фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Вип.3. БДПУ, 2022. С.55-64.
6. Бардус І.О., Ковачов С.С., Богданов І. Т. , Сичікова Я. О. Формування та розвиток когнітивних професіно важливих якостей майбутнього нанотехнолога в умовах фундаменталізації його професійної підготовки. Актуальні проблеми в системі освіти: загальноосвітній заклад середньої освіти – доуніверситетська підготовка – заклад вищої освіти. 2022. Вип. 2. С. 726-733.

2.2. Моделі методів та дидактичних засобів методичної системи фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Розроблення методичної системи фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства вимагає розробки комплексу методів та дидактичних засобів, спрямованих на навчання дисциплін, пов'язаних з наноматеріалами. Як ми визначили в попередніх пунктах, для забезпечення ефективності професійної підготовки, важливо навчати здобувачів вищої освіти не просто фактичним знанням про наноматеріали, а методам отримання нових знань у цій галузі на основі фундаментальних принципів та понять. Таким чином, навчально-пізнавальна діяльність студентів має моделювати процес дослідження, створення та застосування наноматеріалів, сприяючи розвитку їх творчих та інноваційних здібностей.

Продуктивна навчально-пізнавальна діяльність – це мотивоване, цілеспрямоване засвоєння змісту освіти, яке спрямоване на створення індивідуальних навчальних продуктів [1, 2]. Продуктивна навчально-пізнавальна діяльність у контексті фундаменталізованої професійної підготовки здобувачів вищої освіти у галузі наноматеріалознавства може бути визначена як процес, що включає активне та цілеспрямоване засвоєння глибоких теоретичних знань та практичних навичок у галузі наноматеріалів. Цей процес охоплює не тільки розуміння фундаментальних наукових принципів, що лежать в основі наноматеріалів, але й розвиток здатності до інноваційного мислення та креативного підходу до рішення практичних завдань у цій сфері.

Така діяльність вимагає інтеграції традиційних та сучасних методів навчання, включаючи лекції, семінари, лабораторні роботи, колаборативні проекти, самостійне дослідження, а також залучення до реальних проектів і стажувань у галузі нанотехнологій. Основною метою є не лише набуття знань, але й розвиток критичного мислення, уміння аналізувати та синтезувати інформацію, а також вміння застосовувати набуті знання у практичних ситуаціях для створення нових, інноваційних наноматеріалів.

Для досягнення цих цілей необхідно розробити алгоритм квазіпрофесійної навчально-пізнавальної діяльності, який включає в себе елементи теоретичного

навчання, практичних досліджень, а також розвитку навичок критичного мислення та інноваційного підходу. Це дозволить здобувачам вищої освіти не тільки удосконалювати існуючі наноматеріали та технології, але й розробляти нові, що відкриває шлях для прогресу в галузі наноматеріалознавства.

Таким чином, методи навчання повинні відображати комплексний підхід, який об'єднує фундаментальні знання, практичний досвід та інноваційний підхід для досягнення високих результатів у професійній підготовці майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Відповідно до робіт [3 - 10], для ефективної навчально-пізнавальної діяльності в галузі наноматеріалів можна застосувати різноманітні методи навчання, класифіковані за видами навчально-пізнавальної діяльності, за функцією навчання, логікою засвоєння знань, джерелом знань тощо.

Отже, основна увага в процесі організації продуктивної навчально-пізнавальної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства має бути зосереджена на проектних методах. Ці методи включають в себе розробку та впровадження нових матеріалів, що є критично важливим для просування в галузі нанотехнологій. Проектні методи дозволяють здобувачам вищої освіти не тільки теоретично ознайомитися з основами наноматеріалознавства, але й активно брати участь у практичному процесі створення нових матеріалів, аналізуючи їх властивості та застосування.

Основними перевагами застосування проектних методів є можливість для студентів розвивати навички критичного мислення, інноваційного підходу та творчості. Це сприяє не лише глибшому розумінню теоретичних концепцій, але й формує практичні навички, які є необхідними для успішної кар'єри у галузі наноматеріалів. Через це, в рамках професійної підготовки, акцент на проектних методах стає ключовим у підготовці фахівців, здатних до інноваційного мислення та вирішення комплексних завдань, пов’язаних з наноматеріалами

Для забезпечення ефективної реалізації акценту на проектних методах у професійній підготовці фахівців з наноматеріалознавства, важливим є створення інтегрованого та імерсивного освітнього середовища. Таке середовище має забезпечувати здобувачам вищої освіти глибоке занурення у процес створення

та дослідження наноматеріалів від самого початку їх навчання і до його завершення.

Це передбачає впровадження навчальної моделі, де на всіх трьох основних етапах навчання здійснюється поетапне поглиблення знань та навичок. Спочатку акцент робиться на засвоєнні базових теоретичних знань та принципів наноматеріалознавства через інтерактивні лекції та семінари. Наступний етап передбачає активне застосування здобутих знань у практичних заняттях, лабораторних роботах, а також у колаборативному навчанні та проектній діяльності. На завершальному етапі фокус зміщується на самостійну роботу, дистанційне навчання та інтеграцію з індустрією та науково-дослідною діяльністю, що дозволяє здобувачам реалізувати власні проекти та дослідження.

Такий підхід дозволяє здобувачам не тільки набувати глибоких теоретичних знань, але й розвивати практичні навички та компетенції, необхідні для успішної кар'єри у галузі наноматеріалознавства. Це також сприяє формуванню інноваційного мислення та здатності вирішувати комплексні завдання, що є невід'ємною частиною роботи з наноматеріалами.

Тобто в контексті фундаменталізації змісту навчання для підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, використання таких методів навчання, як інтерактивні лекції та семінари, лабораторні роботи та практичні заняття, колаборативне навчання та проектна робота, самостійна робота та дистанційне навчання, а також інтеграція з індустрією та науково-дослідною діяльністю, є ключовими для глибокого занурення здобувачів у світ наноматеріалів (табл. 2.4).

1. **Інтерактивні лекції та семінари** зосереджуються на забезпеченні глибокого розуміння фундаментальних теорій та принципів наноматеріалів, використовуючи інтерактивні засоби навчання. Це дозволяє здобувачам активно взаємодіяти з навчальним матеріалом, підвищуючи їх залученість та інтерес.
2. **Лабораторні роботи та практичні заняття** спрямовані на розвиток практичних навичок зі створення та дослідження наноматеріалів. Експериментальна робота з лабораторним обладнанням і

спеціалізованим програмним забезпеченням дає змогу застосувати теорію на практиці.

3. **Колаборативне навчання та проектна робота** забезпечують розвиток командних навичок, інноваційного та критичного мислення через роботу над спільними проектами, що містять створення та аналіз нових наноматеріалів.

4. **Самостійна робота та дистанційне навчання** допомагають розвивати самостійність та здатність до самоосвіти, що є важливими у розвитку нових наноматеріалів, де потрібен високий рівень ініціативності та креативності.

5. **Інтеграція з індустрією та науково-дослідною діяльністю** забезпечує практичний досвід та знайомство з найновішими напрямками досліджень у галузі, що стимулює здобувачів до створення інноваційних рішень.

Таблиця 2.4. – Методи навчання майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства

Діяльність	**Мета**	**Методи**	**Засоби**
Інтерактивні лекції та семінари	забезпечення глибокого розуміння фундаментальних теорій та принципів	використання інтерактивних засобів навчання, таких як мультимедійні презентації, дискусії, кейс-стаді	цифрові навчальні платформи, візуальні демонстрації, онлайн-ресурси
Лабораторні роботи та практичні заняття	розвиток практичних навичок та застосування теоретичних знань у реальних умовах	виконання експериментів, практичних завдань, проектної роботи	лабораторне обладнання, експериментальні набори, спеціалізоване програмне забезпечення

Колаборативне навчання та проектна робота	сприяння розвитку командних навичок, інноваційного та критичного мислення	групові проекти, кейс-стаді, спільні дослідження	платформи для спільної роботи, онлайн-форуми для обговорень, софт для проектного управління
Самостійна робота та дистанційне навчання	розвиток самостійності, ініціативності та здатності до самоосвіти	онлайн-курси, вебінари, самостійне виконання завдань та проектів	електронні бібліотеки, онлайн-платформи для навчання, відео-лекції
Інтеграція з індустрією та науково-дослідною діяльністю	забезпечення практичного досвіду та знайомство з актуальними напрямками в галузі	стажування, участь у дослідницьких проектах, візити на підприємства	партнерства з компаніями та науковими установами, менторство, майстер-класи від професіоналів галузі

Ця модель методів та дидактичних засобів є фундаментом для розвитку комплексної та інтегрованої системи підготовки фахівців, яка гармонійно поєднує теоретичні знання з практичним досвідом, сприяючи формуванню висококваліфікованих спеціалістів у галузі наноматеріалознавства.

Етап 1

На цьому етапі використовуються інтерактивні лекції та семінари для розуміння основних наукових принципів. Дидактичні засоби включають мультимедійні презентації та активне використання цифрових навчальних платформ. Цей етап спрямований на розвиток аналітичних навичок та базового розуміння фундаментальних наук, що лежать в основі наноматеріалів.

Етап 2

На цьому етапі акцент робиться на лабораторних роботах та практичних заняттях, де студенти застосовують свої знання в реальних умовах. Практичні заняття допомагають студентам розвинути навички роботи з сучасним обладнанням та техніках дослідження наноматеріалів. Використання

спеціалізованого програмного забезпечення та експериментальних наборів також є ключовим на цьому етапі.

Етап 3

Останній етап зосереджений на колаборативному навчанні та проектній роботі, що сприяє розвитку командних навичок, інноваційного та критичного мислення. Студенти беруть участь у групових проектах і науково-дослідній діяльності, що включає роботу з реальними задачами і взаємодію з промисловістю. Використання платформ для спільної роботи, онлайн-форумів для обговорень та інших сучасних засобів співпраці також є важливим на цьому етапі.

Кожен з цих етапів використовує свої методи та дидактичні засоби для досягнення визначених цілей і задач, забезпечуючи комплексне та системне навчання студентів (рис. 2.3).

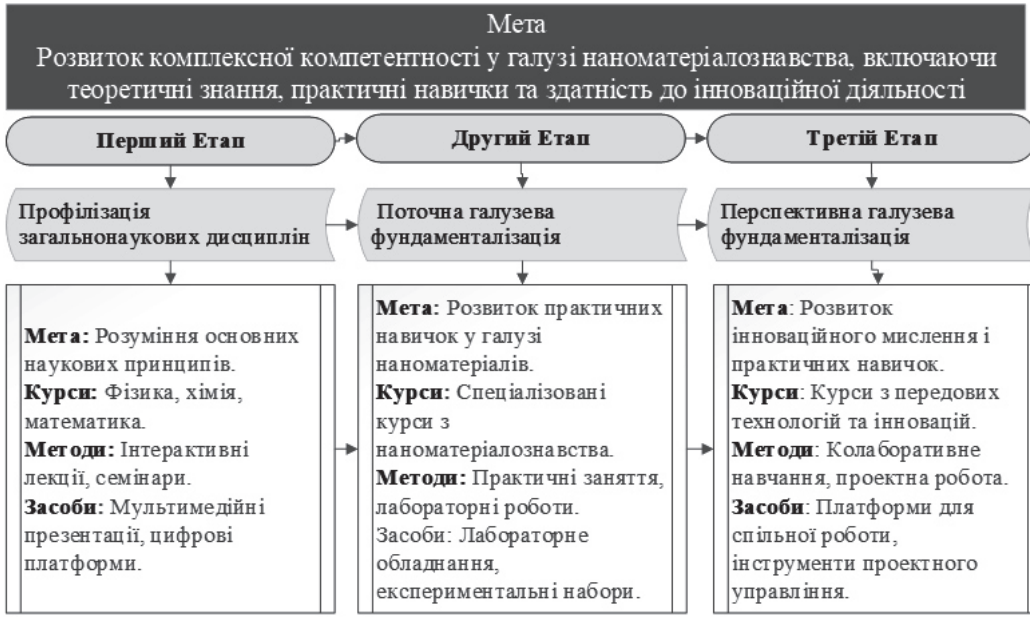

Рисунок 2.3 - Модель методів та дидактичних засобів методичної системи фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Від профілізації базових дисциплін до розвитку інноваційних навичок на перспективному етапі - кожен етап спрямований на формування глибоких знань і практичних навичок, необхідних для фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Трирівнева модель методів та дидактичних засобів розроблена для фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Загальна мета моделі - це підготовка висококваліфікованих фахівців, які володіють як глибокими теоретичними знаннями, так і практичними навичками, необхідними для ефективної роботи та інновацій в галузі наноматеріалознавства. Модель враховує сучасні вимоги та тенденції в освіті, забезпечуючи комплексний та системний підхід до навчання.

Підготовка фахівців у галузі наноматеріалознавства в сучасних умовах вимагає від освітніх систем впровадження специфічних, інноваційних методів та дидактичних засобів. Враховуючи швидкі зміни та складність сучасних наукових досліджень у цій області, освітній процес має бути гнучким, багатогранним та здатним відповідати викликам і потребам цієї динамічної галузі.

Важливо, що методи та засоби, які застосовуються в навчальному процесі, повинні включати як глибоке теоретичне навчання, так і практичні застосування, що дозволяють студентам не тільки засвоювати знання, але й розвивати навички та компетенції, необхідні для майбутньої професійної діяльності. Це передбачає застосування інтерактивних лекцій, симуляційних лабораторій, мікроскопічних технік, проектно-орієнтованого навчання, а також інтеграцію з індустрією та активну участь у науково-дослідній роботі.

У таблиці 2.5 нижче детально описано кожен метод і дидактичний засіб, що відображає їх застосування на різних етапах освітнього процесу, від профілізації загальнонаукових дисциплін до перспективної галузевої фундаменталізації.

Таблиця 2.5 - Специфічні для спеціальності методи та дидактичні засоби у галузі наноматеріалознавства

Діяльність	**Методи**	**Дидактичні засоби**
Симуляційні лабораторії	Використання комп'ютерних симуляцій для моделювання	Спеціалізоване програмне забезпечення для

	процесів створення та взаємодії наноматеріалів.	моделювання, віртуальні лабораторії
Мікроскопічні техніки	Практичні заняття з використанням мікроскопів високого роздільного здатності для вивчення властивостей наноматеріалів	Електронні мікроскопи, скануючі пробникові мікроскопи, програми для аналізу зображень
Проектно-орієнтоване навчання	Групові проекти, спрямовані на розробку та дослідження нових наноматеріалів	Робочі групи, спільні дослідницькі платформи, проектні завдання
Міждисциплінарні студії	Інтеграція знань з хімії, фізики, матеріалознавства та інженерії для всебічного розуміння наноматеріалів	Міждисциплінарні курси, семінари, гостьові лекції від експертів різних галузей
Науково-дослідна робота	Участь у реальних науково-дослідних проектах, що включають експерименти з наноматеріалами	Лабораторії, науково-дослідні центри, співпраця з промисловими партнерами
Інтерактивні технології	Використання інтерактивних та мультимедійних технологій для вивчення складних концептів у галузі наноматеріалів	Відеолекції, віртуальна реальність, мультимедійні презентації
Зовнішні стажування та практики	Досвід роботи у реальних умовах через стажування в дослідницьких лабораторіях та промислових підприємствах	Практичні місця стажувань, співпраця з ведучими компаніями та науковими установами

Ці методи та дидактичні засоби, інтегровані в процес фундаменталізованої підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства, забезпечать глибоке та комплексне навчання, яке відповідає високим стандартам сучасної освіти та потребам галузі. Через використання інтерактивних лекцій, симуляційних лабораторій, міждисциплінарних студій та інших інноваційних підходів, студенти отримують можливість не лише засвоїти теоретичні основи, але й практично застосувати свої знання.

Ефективне поєднання теорії та практики, а також акцент на розвиток навичок критичного мислення, інноваційного підходу та колаборативної роботи гарантує, що випускники будуть добре підготовлені до вирішення реальних завдань та викликів сучасного наноматеріалознавства. Науково-дослідна робота та зовнішні стажування забезпечують студентам цінний практичний досвід та знайомство з передовими інноваціями і технологіями в галузі.

Таким чином, застосування цих методів та засобів сприяє формуванню висококваліфікованих, добре оснащених та адаптованих до швидкозмінних умов професіоналів, здатних внести значний вклад у розвиток наноматеріалознавства та суміжних галузей.

Оцінка ефективності використовуваних методів та дидактичних засобів є ключовим компонентом для забезпечення якості освіти (таблиця 2.6). Це не тільки допомагає визначити, наскільки ефективно матеріал засвоюється студентами, але й виявляє потенційні області для покращення та інновацій у навчальному процесі.

Таблиця 2.6 – Оцінка ефективності використовуваних методів та дидактичних засобів

Методи Оцінки	
Збір зворотнього зв'язку від студентів	Регулярні анкетування та інтерв'ю зі студентами для збору їхніх вражень та пропозицій щодо курсів та методів навчання
Аналіз успішності студентів	Моніторинг академічних результатів, використання портфоліо та інших форм оцінки для виявлення успіхів та слабких сторін у навчанні
Перегляд та оновлення курсів	Регулярний перегляд навчальних програм і матеріалів на предмет їх актуальності та ефективності, а також їх оновлення з урахуванням отриманих даних
Реалізація Оцінки	
Використання аналітичних інструментів	Застосування програмного забезпечення для аналізу даних зворотного зв'язку та академічних результатів

Участь викладачів та адміністрації	Залучення викладачів та адміністративного персоналу до процесу оцінки і внесення змін
Прозорість процесу	Інформування студентів про результати оцінок та запроваджені зміни, що сприяє створенню відкритого та взаємовигідного навчального середовища

Включення систематичної оцінки ефективності методів та дидактичних засобів є важливим для адаптації та покращення навчального процесу, забезпечуючи, що освітня програма відповідає потребам студентів та динаміці галузі.

Інтеграція міжкультурної освіти в освітній процес є ключовою для підготовки фахівців, здатних ефективно співпрацювати в глобальному науковому та промисловому контексті. У галузі наноматеріалознавства, де співпраця часто перетинає культурні та національні межі, розуміння міжкультурних відмінностей та уміння адаптуватися до різних робочих середовищ є надзвичайно важливими.

Інтеграція міжкультурної освіти в програму підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства відіграє вирішальну роль у формуванні компетенцій, необхідних для успішної взаємодії в міжнародних наукових та технічних спільнотах. Особливо важливим це стає в умовах глобалізації та міжнародної інтеграції наукових досліджень і проектів.

Міжкультурна освіта сприяє розвитку здатності студентів ефективно адаптуватися до різноманітних робочих культур, розуміти та поважати культурні відмінності, а також вмінню ефективно спілкуватися і співпрацювати з колегами з різних країн і культур. Це не тільки розширює професійні горизонти студентів, але й відкриває двері для більш широкої міжнародної співпраці у науці та техніці.

Згідно з даними, представленими у таблиці 2.7, інтеграція міжкультурної освіти в навчальний процес охоплює різні аспекти, від мовного навчання до розуміння культурних норм і цінностей, що є ключовими для міжнародної співпраці та обміну знаннями. Це також включає розвиток навичок міжкультурної комунікації, які є незамінними у міжнародних наукових проектах та дослідженнях.

У галузі наноматеріалознавства, де технологічні інновації розвиваються стрімко, використання сучасних цифрових технологій у навчанні є не просто важливим, але й необхідним (табл. 2.8).

Таблиця 2.7 – Інтеграція міжкультурної освіти в освітній процес

Методи Реалізації	
Курси міжкультурної комунікації	Включення спеціалізованих курсів або модулів з міжкультурної комунікації та етикету у навчальну програму
Міжнародні обміни та співпраця	Організація студентських обмінів, стажувань та спільних проектів з іноземними університетами та дослідницькими центрами
Гостьові лекції та семінари	Запрошення міжнародних експертів для проведення лекцій та семінарів, що збагачують розуміння різних культурних контекстів у науці та техніці
Дидактичні засоби	
Міжкультурні тренінги та воркшопи	Розробка та проведення спеціальних тренінгів та воркшопів, що сприяють розвитку міжкультурної компетентності
Онлайн-платформи для міжнародного спілкування	Використання цифрових технологій для забезпечення взаємодії з іноземними колегами та студентами

Таблиця 2.8 – Використання сучасних цифрових технологій

Методи застосування	
Штучний інтелект та машинне навчання	Використання AI та машинного навчання для аналізу наукових даних, моделювання процесів та оптимізації досліджень
Великі дані та аналітика	Застосування великих даних для збору, аналізу та візуалізації інформації, що сприяє більш глибокому розумінню тенденцій та закономірностей у галузі

Цифрові лабораторії та симуляції	Використання цифрових лабораторій для симуляції експериментів, які можуть бути дорогими або неможливими для виконання в реальних умовах

Дидактичні Засоби

Інтерактивні платформи для навчання	Використання інтерактивних онлайн-курсів, вебінарів та відео-лекцій для забезпечення більш гнучкого та доступного навчання
Віртуальна реальність та аугментована реальність	Використання технологій VR та AR для створення іммерсивних освітніх досвідів, які занурюють студентів у світ наноматеріалів

Застосування цифрових технологій у навчанні наноматеріалознавства не тільки покращує якість освіти, але й сприяє розвитку навичок, які є критично важливими для майбутньої професійної діяльності в цій галузі. Студенти набувають досвіду в застосуванні передових технологій, що є ключовим для успішної кар'єри в наукових дослідженнях та розвитку нових технологій

Сучасні цифрові технології, такі як віртуальна і доповнена реальність, штучний інтелект, машинне навчання, та великі дані, дозволяють студентам та дослідникам візуалізувати складні наноструктури та процеси на молекулярному рівні, що раніше було неможливо. Це сприяє кращому розумінню властивостей та поведінки наноматеріалів, а також допомагає у розробці нових матеріалів та технологій.

Крім того, онлайн-платформи для навчання та співпраці забезпечують студентам доступ до широкого спектру ресурсів та можливостей для міжнародного наукового співробітництва. Це особливо важливо в контексті інтеграції міжкультурної освіти в освітній процес, як це показано у Таблиці 3.6. Включення міжкультурного аспекту у навчання дозволяє студентам краще розуміти глобальний контекст розвитку нанотехнологій, а також сприяє

формуванню культурної обізнаності та гнучкості, що є ключовими у сучасному багатокультурному науковому середовищі.

Етика у наноматеріалознавстві відіграє критичну роль, оскільки ця галузь пропонує численні інновації та технології, які можуть мати значний вплив на суспільство, здоров'я та довкілля (таблиця 2.9). Освіта з етичних питань допомагає студентам розуміти відповідальність, пов'язану з розробкою та застосуванням наноматеріалів.

Включення етичної освіти у програму підготовки фахівців з наноматеріалознавства допомагає виховувати відповідальне ставлення до наукових досліджень, розвитку технологій та їх застосування. Студенти навчаються оцінювати можливі наслідки своєї роботи, що є важливим для забезпечення безпечного та етичного використання наноматеріалів.

Таблиця 2.9 - Включення етичних аспектів нанонауки у зміст освіти фахівців з наноматеріалознавства

Методи включення етики у навчання	
Інтегровані етичні курси	Включення курсів або модулів, присвячених обговоренню етичних проблем, пов'язаних з наноматеріалами та їх застосуванням
Дискусії та кейс-стаді	Організація дискусій, аналіз кейсів та семінарів з питань етики, які дозволяють студентам аналізувати різні сценарії та приймати виважені рішення
Співпраця з експертами з етики	Залучення експертів з етики до викладання та проведення спеціалізованих семінарів, що сприяють глибшому розумінню етичних аспектів
Дидактичні Засоби	
Інтерактивні тренінги	Розробка інтерактивних тренінгів та воркшопів, що дозволяють студентам відчути реальність етичних дилем через рольові ігри та симуляції
Онлайн-платформи для обговорення	Використання онлайн-форумів для обговорення етичних кейсів, забезпечуючи широкий доступ до різноманітних думок та поглядів

У світі, де наукові знання та технології постійно розвиваються, особливо в галузі наноматеріалознавства, важливість розвитку навичок протягом усього життя є незаперечною. Підготовка фахівців, здатних до постійного навчання, самовдосконалення та адаптації до нових викликів, є ключовим для їхньої професійної успішності та релевантності.

Методи сприяння розвитку навичок:

1. **Навчання навичкам самоосвіти**: включення модулів та семінарів, спрямованих на розвиток навичок самостійного навчання, критичного мислення та пошуку інформації.
2. **Семінари з особистісного розвитку**: організація тренінгів та семінарів з розвитку м'яких навичок, таких як комунікація, лідерство, командна робота.
3. **Онлайн-ресурси для неперервної освіти**: надання доступу до онлайн-курсів, вебінарів та інших ресурсів, які сприяють неперервному навчанню та професійному розвитку.

Дидактичні засоби:

- **Електронні портфоліо та блоги**: застосування електронних портфоліо та блогів для відстеження та демонстрації професійного зростання та розвитку навичок.
- **Мережі професійного зростання**: створення мереж для професійного обміну знаннями, включаючи менторські програми та спільноти практиків.

Розвиток навичок протягом усього життя гарантує, що фахівці у галузі наноматеріалознавства не лише зберігають свою кваліфікацію актуальною, але й здатні вносити інноваційний вклад у свою галузь. Це дозволяє їм бути гнучкими, адаптивними та конкурентоспроможними у швидко змінюваних умовах наукових досліджень та технологічного прогресу.

У цьому розділі ми розглянули комплексний підхід до підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства, акцентуючи увагу на моделях методів та дидактичних засобів. Визначено, що успіх у підготовці фахівців залежить не лише

від глибоких теоретичних знань, але й від практичних навичок, здатності до інноваційного мислення та адаптації до нових викликів.

Розглянуті методи та засоби, такі як симуляційні лабораторії, міждисциплінарні студії, проектно-орієнтоване навчання, а також інтеграція міжкультурної освіти, використання сучасних цифрових технологій, обговорення етичних питань та розвиток навичок протягом усього життя, є життєво важливими для підготовки кваліфікованих фахівців.

Ключовим аспектом є створення навчального середовища, що сприяє не лише засвоєнню знань, але й розвитку критичного мислення, творчості та ініціативності. Сучасні цифрові технології та методики навчання відіграють важливу роль у цьому процесі, дозволяючи студентам досягти глибшого розуміння матеріалу та розробляти інноваційні рішення.

У підсумку, розроблені моделі методів та дидактичних засобів в цьому розділі спрямовані на формування всебічно розвинених, адаптивних та інноваційних фахівців, готових відповідати викликам сучасного наноматеріалознавства та активно сприяти прогресу в цій галузі.

Література:

1. Бардус І. Фундаменталізація змісту професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі інформаційних технологій до продуктивної діяльності. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка. 2017. Т. 3. С. 74-81.
2. Бардус І. Фундаменталізація освіти як умова ефективної підготовки майбутніх інженерів-педагогів комп'ютерного профілю. Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології. 2016. №. 4. С. 172-178.
3. Suchikova Y. et al. Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). – IEEE, 2021. 584-588.
4. Suchikova Y. et al. Training Prospective Nanotechnologists to Select Optimum Solutions for the Nanostructures Synthesis Using the Analytic Hierarchy Process. TEM Journal. 2021. Т. 10. №. 4.
5. Sychikova Y. O., Bohdanov I. T. Дослідження умов формування фахових компетенцій майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Actual Problems in the System of Education: General Secondary Education Institution–Pre-University Training–Higher Education Institution. 2017. №. 1. С. 220-222.
6. Blonder R., Sakhnini S. Teaching two basic nanotechnology concepts in secondary school by using a variety of teaching methods. Chem. Educ. Res. Pract. 2012. Vol. 13, no. 4. P. 500–516
7. Teaching high-school students nanoscience and nanotechnology / D. Stavrou et al. *Lumat: International Journal of Math, Science and Technology Education*. 2015. Vol. 3, no. 4. P. 501–511. URL: https://doi.org/10.31129/lumat.v3i4.1019

8. Hingant B., Albe V. Nanosciences and nanotechnologies learning and teaching in secondary education: a review of literature. Studies in Science Education. 2010. Vol. 46, no. 2. P. 121–152. URL: https://doi.org/10.1080/03057267.2010.504543
9. Stavrou D., Michailidi E., Sgouros G. Development and dissemination of a teaching learning sequence on nanoscience and nanotechnology in a context of communities of learners. Chemistry Education Research and Practice. 2018. Vol. 19, no. 4. P. 1065–1080. URL: https://doi.org/10.1039/c8rp00088c
10. Şenel Zor T., Aslan O. The effect of activity-based nanoscience and nanotechnology education on pre-service science teachers' conceptual understanding. Journal of Nanoparticle Research. 2018. Vol. 20, no. 3. URL: https://doi.org/10.1007/s11051-018-4182-x

2.3. Модель методичної системи фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Для розроблення методичної системи фундаменталізованої професійної підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства доцільно застосувати метод педагогічного моделювання. Цей підхід передбачає створення гармонійної та інтегрованої системи навчання, яка враховує специфіку галузі та потреби сучасного ринку праці.

Процес навчання у вищій освіті має включати наступні компоненти, кожен з яких відіграє важливу роль у реалізації цілісного навчального процесу (табл. 2.10):

- Мотиваційно-ціннісний компонент;
- Змістовий компонент;
- Діяльнісний компонент;
- Контрольно-регулювальний компонент.

Ця модель методичної системи створює цілісну та збалансовану структуру навчання, яка забезпечує гармонійний розвиток як теоретичних знань, так і практичних навичок, необхідних для професійної діяльності у сфері наноматеріалознавства (рис. 2.4).

В основу розроблення усіх компонентів методичної системи фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства мають бути покладені положення концепції системної фундаменталізації, дидактичних законів, закономірностей, принципів та провідних методологічних підходів, які визначають умови підвищення якості професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматерілознавства.

Дієвість моделі забезпечується положеннями прогностичного, системного, інтегративного, діяльнісного, компетентнісного та синергетичного методологічних підходів.

Таблиця 2.10 – Структура компонентів навчання майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Мета	Реалізація	Очікувані результати
Мотиваційно-ціннісний компонент		
Виховання у здобувачів ціннісного ставлення до навчання та мотивації до освоєння галузі наноматеріалознавства	Використання інтерактивних та вмотивовуючих методів навчання, таких як гостьові лекції від провідних фахівців, дискусії про реальні випадки та історії успіху в галузі	Здобувачі розуміють значення та перспективи галузі наноматеріалознавства, мають високий рівень зацікавленості та мотивації до навчання
Змістовий компонент		
Забезпечення глибокого та всебічного освоєння знань у галузі наноматеріалознавства.	структурування навчального плану з акцентом на ключові аспекти наноматеріалознавства, включаючи основи нанонауки, властивості наноматеріалів, технології їх створення та застосування	Здобувачі отримують комплексні знання та розуміння основних принципів та інновацій у галузі наноматеріалів
Діяльнісний компонент		
Розвиток практичних навичок та здатностей до застосування знань у реальних умовах	Впровадження практичних занять, лабораторних робіт, проектів та досліджень, що дозволяють студентам застосовувати теоретичні знання на практиці	Здобувачі здобувають практичний досвід, вміння працювати з наноматеріалами, проводити дослідження та реалізовувати проекти
Контрольно-регулювальний компонент		
Забезпечення ефективного контролю за навчальним процесом та його корекції з метою досягнення найкращих результатів	Використання різноманітних форм оцінювання знань та навичок здобувачів, включаючи тести, курсові роботи, проектну діяльність та самооцінку	Можливість своєчасно виявляти та виправляти прогалини в знаннях та навичках здобувачів, підвищуючи якість та ефективність навчального процесу

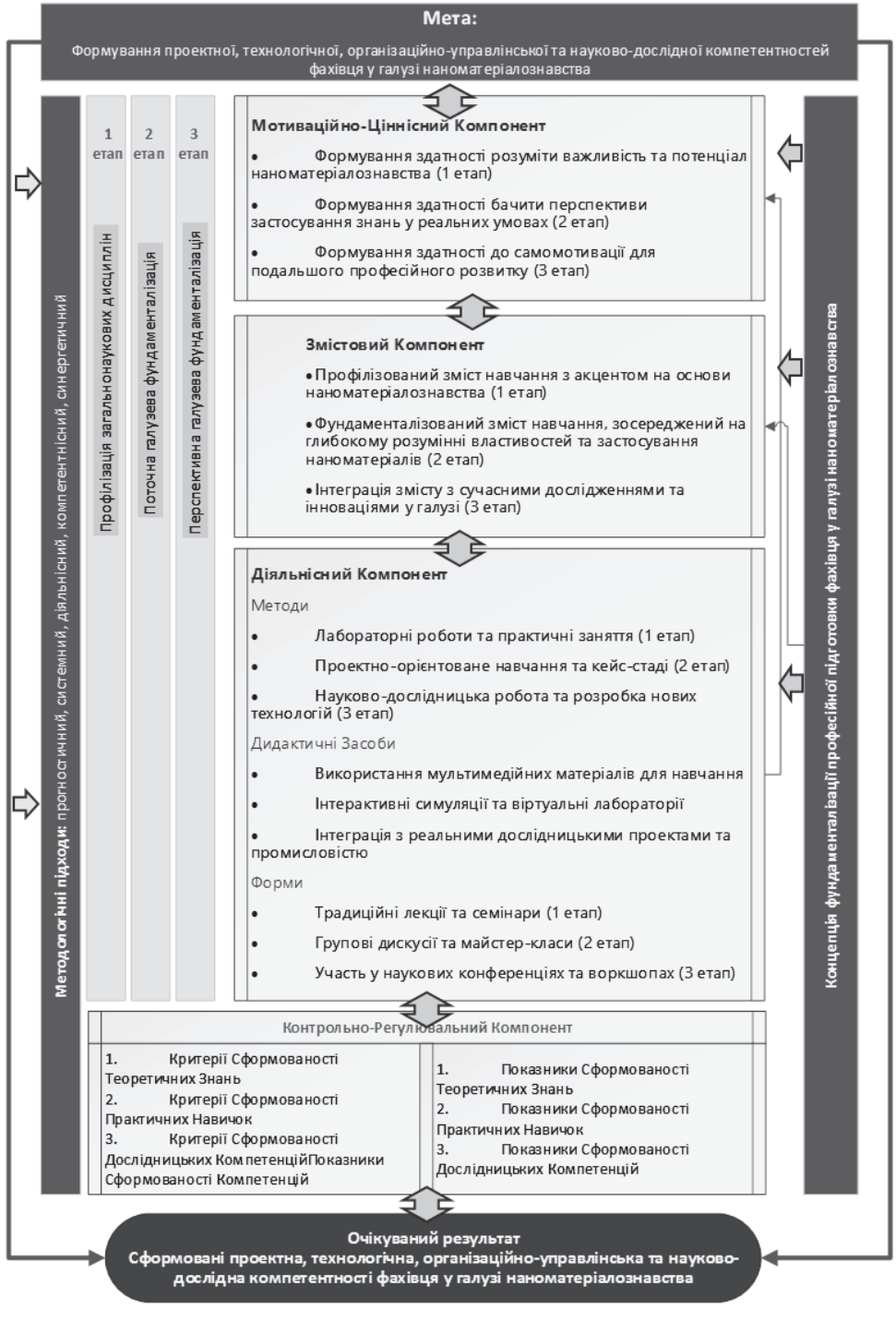

Рисунок 2.4 – Структурно-функціональна модель системи фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства

Мотиваційно-Ціннісний Компонент

Цей компонент зосереджується на формуванні у студентів мотивації та ціннісного ставлення до навчання в галузі наноматеріалознавства. Він включає в себе розвиток здатності розуміти важливість і потенціал наноматеріалознавства (на етапі профілізації загальнонаукових дисциплін), формування усвідомлення перспектив застосування знань у реальних умовах (на етапі поточної галузевої фундаменталізації), а також розвиток самомотивації для неперервного професійного розвитку (на етапі перспективної галузевої фундаменталізації).

Змістовний Компонент

Цей компонент відображає структуру навчального плану, з акцентом на ключові аспекти наноматеріалознавства. Він охоплює профілізований зміст з акцентом на основи наноматеріалознавства (на етапі профілізації), фундаменталізований зміст, зосереджений на глибокому розумінні властивостей та застосування наноматеріалів (на етапі поточної галузевої фундаменталізації), та інтеграцію змісту з сучасними дослідженнями та інноваціями (на етапі перспективної галузевої фундаменталізації).

Діяльнісний Компонент

Цей компонент спрямований на розвиток практичних навичок. На різних етапах навчання використовуються різні методи, включаючи лабораторні роботи та практичні заняття (на першому етапі), проектно-орієнтоване навчання та кейс-стаді (на другому етапі), та науково-дослідницьку роботу та розробку нових технологій (на третьому етапі). Дидактичні засоби включають використання мультимедійних матеріалів, інтерактивних симуляцій, та інтеграцію з реальними дослідницькими проектами та промисловістю.

Контрольно-Регулювальний Компонент

Останній компонент забезпечує об'єктивну оцінку рівня сформованості компетенцій студентів. Критерії сформованості включають оцінку теоретичних знань, практичних навичок та дослідницьких компетенцій. Показники сформованості охоплюють результати тестувань, оцінки за лабораторні роботи

та проектну діяльність, а також рецензії на наукові статті та відгуки від наукових керівників.

Схарактеризовані компоненти розробленої моделі методичної системи фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства створюють умови для формування у них проектної, технологічної, організаційно-управлінської та науково-дослідної компетентностей.

У сукупності ці компоненти створюють систему, яка не тільки виконує завдання передачі знань, але й формує у студентів необхідні навички та компетенції для ефективної професійної діяльності в галузі наноматеріалознавства. Завдяки цьому, випускники програми будуть готові до вирішення складних завдань, інноваційного мислення та внеску у розвиток науково-технічної галузі.

Таким чином, запропонована модель методичної системи не лише забезпечує ретельно сплановане та цілеспрямоване навчання, але й сприяє гармонійному розвитку особистості кожного студента. Це досягається завдяки комплексному підходу до навчання, який охоплює не тільки науково-технічні аспекти, але й розвиток критичного мислення, творчих здібностей та соціальних навичок.

Модель також відзначається гнучкістю та адаптивністю до змін у науковому та технологічному середовищі, що є надзвичайно важливим у такій швидкозмінній галузі, як наноматеріалознавство. Вона дозволяє інтегрувати новітні наукові відкриття та технологічні новинки у навчальний процес, забезпечуючи актуальність та сучасність освіти.

Важливим аспектом є також підготовка студентів до реального професійного життя. Це досягається не лише через набуття фахових знань та навичок, але й через розвиток здатності до самоосвіти, вміння працювати в команді, комунікаційних навичок та здатності ефективно вирішувати проблеми.

Особливість розробленої моделі фундаменталізованої професійної підготовки полягає у тому, що вона забезпечує глибоке засвоєння

фундаментальних знань у галузі наноматеріалознавства, поєднуючи їх з передовими практиками та новітніми технологічними досягненнями.

Фундаменталізація підготовки означає, що студенти не лише оволодівають актуальними теоретичними знаннями, але й розуміють базові принципи та фундаментальні закони, що лежать в основі наноматеріалів. Це дає їм змогу не тільки ефективно використовувати наявні технології, але й сприяє розвитку здатності до інноваційного мислення та створенню нових рішень. Кожен компонент моделі вносить свій вклад у цей процес. Мотиваційно-ціннісний компонент формує стійке розуміння значущості наноматеріалів та їхнього впливу на сучасні технології. Змістовий компонент забезпечує глибоке та всебічне розуміння основних наукових принципів та їх застосування. Діяльнісний компонент включає різноманітні методи та форми навчання, що сприяють розвитку практичних навичок та дослідницьких компетенцій. Нарешті, контрольно-регулювальний компонент гарантує, що процес навчання відповідає високим стандартам якості та ефективності.

У підсумку, модель створює цілісну та ефективну систему підготовки, яка не тільки надає студентам необхідні знання та навички, але й виховує здатність до інноваційного мислення та вирішення складних задач, що є вирішальними для успіху у галузі наноматеріалознавства.

2.4. Загальні методичні рекомендації

Сфера наноматеріалознавства є ключовою для технологічного розвитку та інновацій в багатьох галузях, включаючи оборону, медицину, енергетику та електроніку. Наше дослідження підкреслює, що сучасний рівень підготовки фахівців не повністю відповідає потребам цих динамічно розвиваючихся галузей. Існує розрив між теоретичними знаннями, які надаються в освітніх закладах, та практичними навичками, необхідними для інноваційної та продуктивної діяльності в галузі.

Оновлення та модернізація освітнього процесу в галузі наноматеріалознавства вимагає системного підходу, який би об'єднував фундаментальні наукові засади з практичним застосуванням. Це включає не лише перегляд навчальних програм, але й впровадження інноваційних методів навчання, розвиток співпраці з промисловістю та науковими центрами, а також забезпечення доступу студентів до сучасних лабораторій та дослідницьких об'єктів.

Враховуючи стрімкий розвиток технологій та постійно зростаючі вимоги до кваліфікації фахівців, важливо не лише адаптувати освітню систему до сучасних реалій, але й передбачити майбутні тенденції та вимоги. Такий підхід забезпечить не лише випуск кваліфікованих фахівців, але й сприятиме подальшому науковому та технологічному прогресу країни.

Ці рекомендації мають на меті вказати конкретні кроки та ініціативи, які повинні бути реалізовані для досягнення цих цілей, та стимулювати відповідні зміни в освітній політиці та практиці.

Стратегічні Напрями

Стратегічне планування в освітній сфері вимагає комплексного підходу, що поєднує академічну досконалість з відповідністю до реальних потреб ринку праці. Одним з ключових елементів є розробка інтегрованих навчальних програм, які поєднують передові дослідження та практичний досвід, будучи при цьому гнучкими та адаптованими до швидких змін у технологічному секторі. Важливо також забезпечити міждисциплінарний характер навчання, що включає фундаментальні знання з різних дисциплін та практичні аспекти нанотехнологій.

Фокусування на розвитку навичок критичного мислення та інновацій є ключовим для підготовки фахівців, здатних творчо підходити до вирішення складних завдань. Це включає сприяння науковим дослідженням та розробкам, стимулюючи залучення студентів до реальних проектів вже на етапі навчання. Активне співробітництво з промисловістю для забезпечення стажувань та менторства є також важливим для забезпечення практичної орієнтованості навчання.

Розвиток навичок лідерства та підприємництва є критично важливим для формування фахівців, здатних керувати інноваційними проектами та вносити вагомий внесок у розвиток галузі. Надання можливостей для неперервного навчання та професійного розвитку дозволяє фахівцям оновлювати та розширювати свої знання відповідно до останніх тенденцій у галузі, що є ключовим для їхнього професійного зростання.

Ці стратегічні напрями вимагають комплексного підходу з боку освітніх установ, урядових органів та промисловості для створення ефективної та інноваційної системи підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Рекомендації щодо змін у освітніх програмах, курсах та методиках навчання

Для підготовки кваліфікованих фахівців у галузі наноматеріалознавства необхідно реформувати освітні програми, курси та методики навчання. З метою забезпечення актуальності та ефективності освітнього процесу рекомендовано інтегрувати новітні дослідження в навчальні програми, зокрема включати останні наукові відкриття та інноваційні технології. Бажано розробляти міждисциплінарні курси, що об'єднують знання з різних дисциплін, як-от фізика, хімія, математика та інженерія, для глибшого розуміння наноматеріалів.

Також доцільно зосередити увагу на практичному навчанні та лабораторних роботах, збільшуючи частку цих елементів в навчальному процесі. Важливо розвивати навички критичного мислення та аналізу через методики, які сприяють аналітичним здібностям та творчому підходу до розв'язання проблем. Рекомендовано впроваджувати гнучкі та адаптивні курси, які можна оновлювати та адаптувати до швидко змінюваних умов та потреб галузі.

Наостанок, доцільно залучати практикуючих фахівців до навчального процесу, наприклад, через ведення лекцій, семінарів або майстер-класів, що забезпечить практичну орієнтованість навчання.

Регулярна оцінка та перегляд існуючих навчальних програм є важливими для їх вдосконалення та оновлення згідно з поточними тенденціями у галузі наноматеріалознавства. Такий підхід дозволяє забезпечити, що освітній матеріал залишається актуальним та відповідає останнім науковим досягненням та індустріальним потребам.

Крім того, підтримка неперервної освіти та професійного розвитку є ключовою для фахівців у цій галузі. Створення програм неперервної освіти допомагає спеціалістам оновлювати свої знання та навички, що є критично важливим у швидко змінюваних умовах та при швидкому розвитку галузі наноматеріалів. Це також сприяє підвищенню їхньої конкурентоспроможності та професійної майстерності.

Методичні Підходи

У контексті підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, методичні підходи в освітньому процесі відіграють ключову роль, забезпечуючи злиття фундаментальних знань з практичною орієнтованістю. Серед основних методів та підходів, які рекомендується впровадити, важливе місце займає проблемно-орієнтоване навчання (PBL), яке сприяє розвитку аналітичного мислення та навичок розв'язання складних реальних задач. Кейс-метод також є ефективним для аналізу реальних ситуацій, з якими здобувачі можуть зіткнутися у професійній діяльності.

Інтерактивні лекції та семінари, де здобувачі активно беруть участь у дискусіях та вирішенні задач, є важливими для створення динамічного навчального середовища. Регулярні практичні заняття в лабораторіях дозволяють закріпити теоретичні знання та розвинути практичні навички. Впровадження довгострокових проектів сприяє розвитку здатності здобувачів розробляти власні ідеї та втілювати їх у реальні продукти чи дослідження.

Оцінювання на основі виконання завдань та проектів, замість традиційних іспитів, дозволяє краще виміряти реальні навички та компетенції здобувачів.

Використання сучасних технологій, таких як віртуальна реальність, для симуляції робочих умов та експериментів відіграє важливу роль у технологічно-орієнтованому навчанні. Розвиток м'яких навичок, таких як комунікація, командна робота та критичне мислення, є життєво необхідним для успішної професійної діяльності.

Стимулювання самостійності здобувачів у навчанні, заохочуючи їх до самостійного пошуку знань та власних рішень, є важливим для формування незалежних та ініціативних фахівців. Ці методичні підходи спрямовані на створення більш динамічного, інтерактивного та ефективного навчального середовища, яке відповідає сучасним вимогам і викликам у галузі наноматеріалознавства, допомагаючи здобувачам не тільки засвоїти теоретичне розуміння матеріалу, але й застосувати отримані знання на практиці.

Вдосконалення навчальних матеріалів та ресурсів

Розвиток та вдосконалення навчальних матеріалів та ресурсів є критично важливими для забезпечення якісної освіти у галузі наноматеріалознавства. Основна увага приділяється постійному оновленню та розробці навчальних матеріалів, щоб вони відповідали сучасним науковим досягненням та технологічним інноваціям. Важливо створювати інтерактивні та мультимедійні навчальні матеріали, включаючи відео, онлайн-курси та електронні підручники, для підвищення зацікавленості та залучення студентів.

Оснащення навчальних лабораторій сучасним експериментальним обладнанням є ключовим для виконання передових наукових досліджень та експериментів. Розробка віртуальних лабораторій та симуляцій для студентів, які не мають можливості доступу до реальних лабораторних умов, також є важливою. Надання студентам доступу до онлайн-бібліотек, наукових баз даних та інших ресурсів для самостійного навчання та дослідження сприяє їхньому глибокому залученню в навчальний процес.

Залучення студентів до реальних наукових досліджень та співпраця з науковими інститутами та дослідницькими центрами є важливим для практичної орієнтованості освіти. Розвиток та вдосконалення цифрових навчальних платформ забезпечують гнучкість та доступність навчання. Створення

навчальних кейсів, заснованих на реальних промислових та наукових задачах, є ключовим для розвитку практичних навичок студентів.

Забезпечення регулярної підтримки та оновлення експериментального обладнання забезпечує його актуальність та ефективність. Інтеграція зі світовими науковими спільнотами та інститутами для обміну знаннями, досвідом та ресурсами сприяє глобальній інтеграції та співпраці в освітньому процесі. Ці рекомендації мають на меті створення сучасної, інноваційної та високо ефективної освітньої інфраструктури, яка надасть студентам необхідні ресурси для якісної підготовки в галузі наноматеріалознавства.

Оцінка якості та відстеження прогресу

Для забезпечення високої якості підготовки та ефективності впроваджених змін у навчальний процес, рекомендовано використовувати систематичні методи оцінки та відстеження. Необхідно розробити комплексні системи оцінювання, які б враховували як академічні досягнення, так і практичні навички здобувачів. Впровадження оцінювання на основі компетенцій дозволить оцінити рівень розвитку конкретних навичок і знань, необхідних у професійній діяльності.

Це дозволить забезпечувати регулярний зворотний зв'язок від здобувачів та викладачів щодо навчальних програм та методик, для виявлення можливих областей для покращення. Моніторинг та аналіз успішності здобувачів через електронні системи моніторингу допоможе відстежувати їхній прогрес та ідентифікувати області, які потребують додаткової уваги або підтримки.

Необхідно проводити регулярні оцінки ефективності впроваджених змін у навчальний процес, з метою вимірювання їх впливу на якість освіти. Застосування аналітики навчання для збору та аналізу даних про навчальний процес і результати здобувачів дозволить виявити тенденції та оптимізувати навчальні стратегії.

Залучення відгуків від роботодавців та промисловості щодо готовності випускників до роботи є важливим для оцінки відповідності навчальних програм потребам ринку. Проведення оцінок успішності випускників після закінчення навчання допоможе оцінити довгостроковий вплив освітньої програми на їхню кар'єру.

Підготовка регулярних звітів та оглядів про ефективність навчальних програм забезпечить прозорість та підзвітність. Участь у міжнародних оцінках та порівняльних дослідженнях допоможе визначити положення навчальних програм на міжнародному рівні. Ці методи оцінки якості та відстеження прогресу здобувачів дозволять вчасно виявити неефективні аспекти навчального процесу та вносити необхідні корективи, забезпечуючи високу якість підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Політика та законодавчі ініціативи

Для забезпечення високої якості підготовки та ефективності впроваджених змін у навчальний процес, рекомендовано використовувати систематичні методи оцінки та відстеження. Необхідно розробити комплексні системи оцінювання, які б враховували як академічні досягнення, так і практичні навички здобувачів. Впровадження оцінювання на основі компетенцій дозволить оцінити рівень розвитку конкретних навичок і знань, необхідних у професійній діяльності.

Де дозволить, забезпечувати регулярний зворотний зв'язок від здобувачів та викладачів щодо навчальних програм та методик, для виявлення можливих областей для покращення. Моніторинг та аналіз успішності здобувачів через системи моніторингу допоможе відстежувати їхній прогрес та ідентифікувати області, які потребують додаткової уваги або підтримки.

Необхідно проводити регулярні оцінки ефективності впроваджених змін у навчальний процес, з метою вимірювання їх впливу на якість освіти. Застосування аналітики навчання для збору та аналізу даних про навчальний процес і результати здобувачів дозволить виявити тенденції та оптимізувати навчальні стратегії.

Залучення відгуків від роботодавців та промисловості щодо готовності випускників до роботи є важливим для оцінки відповідності навчальних програм потребам ринку. Проведення оцінок успішності випускників після закінчення навчання допоможе оцінити довгостроковий вплив освітньої програми на їхню кар'єру.

РОЗДІЛ 3

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ПІДГОТОВКИ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

3.1 Формування готовності у майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства здійснювати вибір оптимальних рішень у синтезі наноструктур

Нанотехнологічна галузь поступово переходить з меж наукових лабораторій до виробничих підприємств. На основі створених сучасним наноматеріалів виготовляють лазери [1, 2], сенсори [3, 4], сонячні елементи [5, 6], суперконденсатори [7, 8], системи передачі інформації [9]. Речовини, що містять наночастинки широко використовуються у косметиці [10], медицині [11, 12], агротехнологічному комплексі [13, 14], машинобудівництві [15, 16] тощо. Все це зумовлює різку потребу у підготовці фахівців, що будуть володіти сучасними методами та технологіями синтезу наноматеріалів [17, 18], дослідження їхніх властивостей [19, 20], оцінювання рівня якості [21, 22] тощо. У всьому світі назріває дефіцит цих фахівців [23]. Експерти зазначають, що найближчі роки ситуація тільки загострюватиметься [24]. Заклади вищої освіти всього світу активно започатковують програми підготовки наноматеріалознавців [25]. Разом з тим, мусимо констатувати відсутність єдиного підходу та розуміння до підготовки таких фахівців. Складність обумовлена, насамперед тим, що наноінженерія включає в себе такі фундаментальні науки, як фізика, хімія, біологія, медицина, математика [26, 27]. З іншого боку нанотехнології слід відносити до технічних наук, адже фахівець у галузі наноматеріалознавства повинен володіти: методами синтезу наноструктур [28, 29], технічними основами електролізу [30], епітаксії [31, 32] тощо. Дослідники кажуть, що кросдисциплінарний характер наноматеріалознавства вимагає формування у майбутніх фахівців особливих фахових компетенцій [33]. Сьогодні в теорію освіти входить термін «нанокваліфікований», що підкреслює унікальність напрямку і програм підготовки [34].

Як правило, програми підготовки наноматеріалознавців започатковуються на базі класичних кафедр, що мають досвід підготовки фізиків, хіміків та біологів.

Звісно, нанотехнології повинні грунтуватися на фундаментальних дисциплінах. Однак часто методики таких дисциплін зовсім не відповідають новому інноваційному напрямку наноінженерії [35]. Для підготовки майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства необхідно розробляти окремі підходи та методи навчання, що будуть гармонічно об'єднувати традиційні наукові і навчальні компоненти з інноваційними, проривними технологіями. Одним з таких підходів, зокрема, можна назвати навчання здобувачів вищої освіти методам вибору оптимальних рішень для здійснення продуктивної діяльності [36]. Справа в тому, що клас наноматеріалів нараховує сьогодні 43 види, на основі яких створено більш ніж 9000 унікальних продуктів [37]. Це ускладнює систематизацію та класифікацію методів синтезу наноматеріалів та спричіняє труднощі у реалізації програм підготовки наноматеріалознавців.

Визначення закономірностей та вибір оптимального рішення про застосування тієї чи іншої технології синтезу нових зразків наноматеріалів високої якості фахівцями з наноматеріалознавства відбувається на основі широко розповсюдженого методу аналізу ієрархій [38]. Він ґрунтується на порівнянні наявних альтернатив з метою вибору оптимального рішення [39].

Формування уміння прийняття оптимальних управлінських рішень на основі методу аналізу ієрархій представлено на прикладі вибору серед трьох типових методів синтезу наноструктур на поверхні напівпровідників, а саме: хімічне травлення (ХТ) [40], фотоелектрохімічне травлення (ФЕТ) [41], літографія (ІЛ) [42].

Методика і умови експерименту

У експерименті брали участь студенти, що навчаються на 2му магістерському рівні спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали» (Бердянський державний педагогічний університет). Групі з 10 здобувачів було запропоновано вибрати найоптимальнішу технологію синтезу наноструктур високого рівня якості серед трьох найпоширеніших: хімічна, фотоелектрохімічна, літографічна. Оцінювати кожну з технологій необхідно було по 4м критеріям: результативності $K_{рез}$ (показує, наскільки синтезовані наноструктури мають досконалу морфологію поверхні та високі показники якості); простоти $K_{пр}$ (включає в себе кількість ланок робочого процесу та складність операцій); часу $K_{ч}$ (терміни тривалості синтезу); економічності $K_{ек}$ (оцінювання за витраченими

ресурсами і їхньою вартістю). Спочатку студентам було запропоновано проводити посту оцінку трьох технологій синтезу, кожному з критеріїв вони повинні були присвоїти бали: -1; 0; 1. Проста адитивна згортка давала однозначну відповідь.

Наступним кроком було визначення оптимальної технології синтезу наноструктур з використанням методу аналізу ієрархій (MAI). Для цього заздалегідь було підготовлено методичні матеріали з використання MAI, а також наукові статті, присвячені технологіям синтезу. Інформація з наукових статей вважалися експертною думкою, на основ якої студенти здійснювали оцінювання та складали матрицю парних порівнянь. Далі описано алгоритми та схеми вибору технології за двома запропонованими підходами.

Методологія і пошук рішень

Проста оцінка наявних альтернатив

Умовно оцінити технології за вибраними критеріями можна за допомогою простої відповідності: «1» – високий рівень, «0» – середній рівень, «–1» – низький рівень (табл. 3.1). Ми приймаємо термін «проста оцінка», бо у цьому випадку не враховуємо вагомість кожного з критеріїв та співвідношення між критеріями.

Таблиця 3.1 – Просте оцінювання технологій синтезу виділеним критеріям

К	**Технології**		
	ХТ	***ФЕТ***	***ЛТ***
$К_{рез}$	-1	0	1
$К_{пр}$	1	0	-1
$К_{ч}$	0	1	-1
$К_{ек}$	1	0	-1
Сума	1	1	-2

Просте оцінювання за технологій синтезу за критеріями шляхом присвоєння дискретного значення дає результат, згідно якого хімічна та фотоелектрохімічна технології мають більший пріоритет перед літографічної технологією. При цьому не має значення яку саме технологію з двох пріоритетних обрати – вони мають

однакову вагу («1»). Літографічна технологія має від'ємний результат («-2»), що свідчить про небажаність її використання. Насправді з власного досвіду [43, 44] можемо стверджувати про хибність отриманого результату. Хімічна технологія значно поступається *ФЕТ* та *ЛТ*.

Цей приклад добре демонструє, що просте оцінювання, без врахування нормованих коефіцієнтів та більш детальної шкали оцінювання, може дати хибний результат. Важливо продемонструвати студентам недоліки цього методу оцінки та потім порівняти з результатами, отриманими за допомогою методу аналізу ієрархій.

Метод аналізу ієрархій

Для того, щоб здійснити ієрархічний синтез необхідно, перш за все, визначити вектори пріоритетів W_i відносно останнього рівня ієрархії. Для цього будуються матриці парних порівнянь [E_i] і здійснюється розрахунок максимальних власних значень для кожної матриці. Також необхідно визначити головні вектори, тобто пріоритети. Аналогічно визначаються матриці парних порівнянь для другого рівня ієрархії. Метою побудови матриць є визначення переваги елементів ієрархічного рівня відносно елементів вищого рангу. Для визначення проведення попарного порівняння критеріїв доцільно скористатися шкалою відносної вагомості Т. Сааті (рис. 3.1).

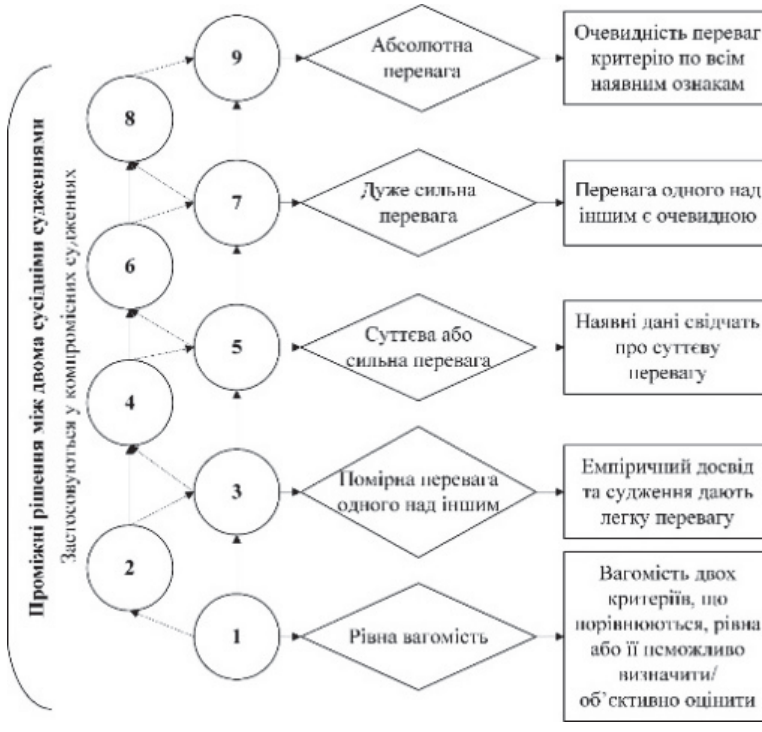

Рис 3.1 – Шкала відносної вагомості

Побудуємо просту ієрархічну структуру, що має один рівень критеріїв (містить чотири) та наявні альтернативи (рис. 3.2).

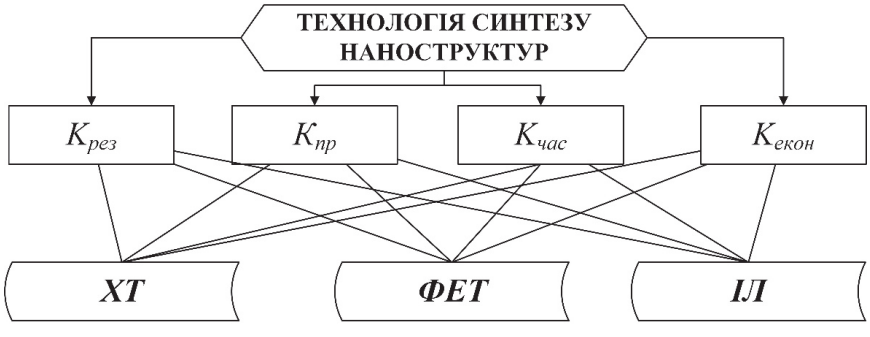

Рисунок 3.2 – Ієрархічна структура вибору оптимального методу синтезу поруватих шарів

Найвпливовішим критерієм визначимо критерій результативності, який буде мати абсолютну перевагу перед критерієм часу, дуже сильну перевагу над критерієм економічності і сильну перевагу над критерієм простоти технологічного процесу. В свою чергу, критерій простоти буде мати сильну перевагу над

критерієм часу. Критерій економічності переважатиме критерій простоти та матиме абсолютну перевагу над критерієм часу. На основі цього побудуємо матрицю парних порівнянь для рівня критеріїв (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Матриця парних порівнянь для рівня критеріїв

Критерії	Крез	Кпр	Кч	Кек
Крез	1	1/5	1/9	1/7
Кпр	5	1	1/5	3
Кч	9	5	1	9
Кек	7	1/3	1/9	1

Аналогічним чином проводимо оцінку для другого рівня ієрархії, складаючи матрицю парних порівнянь для кожного критерію окремо.

Критерій результативності буде мати найбільше значення для літографічної технології, так як саме вона дозволяє отримати наноструктури найвищого рівня якості. Фотоелектрохімічна технологія по відношенню до хімічної технології буде мати дуже сильну перевагу за $K_{рез}$. Складемо матрицю парних порівнянь (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Матриця парних порівнянь для критерію результативності

Альтернативи	ХТ	ФЕХ	ІЛ
ХТ	1	7	9
ФЕХ	1/7	1	5
ІЛ	1/9	1/5	1

Критерій простоти здійснення технологічних операцій показує, наскільки легко проводити технологію і включає в себе кількість ланок процесу, необхідність наявності високотехнологічного устаткування, кваліфікацію персоналу тощо. Звісно, найбільше значення буде мати хімічна технологія, найменше – літографія (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Матриця парних порівнянь для критерію простоти технологічних процесів

Альтернативи	ХТ	ФЕХ	ЛТ
ХТ	1	1/7	1/9
ФЕХ	7	1	1/5
ЛТ	9	5	1

Критерій часу визначається як тривалість всіх технологічних операцій, які необхідно здійснити для синтезу наноструктур від підготовчих до заключних, включаючи аналіз діяльності (табл. 3.5). Найбільш тривалою за часом є хімічна технологія (до 5 годин). Також достатньо довго триває літографічна технологія, так як вона потребує великої кількості підготовчих етапів (виготовлення шаблону, нанесення шаблону тощо). Фотоелектрохімічна технологія триває зазвичай не більше 15 хвилин і має абсолютну перевагу над хімічною та дуже сильну над літографічною.

Критерій економічності визначає витрачені ресурси та їх вартість (табл. 3.6). До ресурсів можна віднести: сировину, устаткування та обладнання, час, витратні матеріали тощо. Найбільш дешевою та економічно привабливою є хімічна технологія, яка потребує використання недорогих електролітів та простого обладнання. Звісно, літографічна технологія є самою вартісною серед трьох представлених. До речі, саме цей чинник стримує розповсюдження методу літографії.

Таблиця 3.5 – Матриця парних порівнянь для критерію часу тривалості технології синтезу від підготовчих етапів до завершення діяльності

Альтернативи	ХТ	ФЕХ	ЛТ
ХТ	1	9	5
ФЕХ	1/9	1	1/7
ЛТ	1/5	7	1

Таблиця 3.6 – Матриця парних порівнянь для критерію економічності діяльності синтезу наноструктур

Альтернативи	ХТ	ФЕХ	ЛТ
ХТ	1	1/3	1/9
ФЕХ	3	1	1/7
ЛТ	9	7	1

Таблиця 3.7 містить розрахункові дані для складених матриць парних порівнянь, а саме такі характеристика як: сума елементів матриць, максимальне власне значення та нормований вектор. На основі цих даних визначається пріоритетність та вагомість наявних альтернатив.

Таблиця 3.7 – Розрахункові значення матриць парних порівнянь для рівня критеріїв

К	**Розрахункові значення матриць**		
	Сума всіх елементів	***Максимальне власне значення***	***Нормований власний вектор***
$К_{рез}$	24.454	3.734	(0.613; 0.0513; 0.335)
$К_{пр}$	24.454	3.734	(0.0513; 0.335; 0.613)
$К_{ч}$	22.587	3.3	(0.0639; 0.183; 0.753)
$К_{ек}$	22.587	3.3	(0.0639; 0.183; 0.753)

Останнім етапом є здійснення ієрархічного синтезу. Для цього треба послідовно визначити вектори пріоритетів наявних альтернатив (технологій синтезу) відносно визначених критеріїв другого рівня ієрархічної структури. При цьому треба врахувати, що обчислення векторів пріоритетів здійснюється від нижнього рівня до вищого з врахуванням конкретних зв'язків між критеріями та альтернативами. На основі здійснення простого перемноження відповідних векторів і матриць будується таблиця відповідності пріоритетів (таблиця 3.8).

Таблиця 3.8 - Таблиця пріоритетів для технологій синтезу наноструктур

Технологія синтезу	**Визначення пріоритету**	
	Значення вектору пріоритету	***Ранг пріоритету***
Хімічна технологія	0,0797017	3
Фотоелектрохімічна технонлогія	0,21088281	2
Літографічна технологія	0,7099675	1

Ранжування значень векторів пріоритетів дає змогу визначити, що при виборі технології синтезу наноструктур, що має на меті отримання найкращого результату (найбільш якісні наноструктури)? слід обирати технологію літографії. На другому місці знаходиться фотоелектрохімічне травлення. зовсім небажаним є метод хімічного травлення.

Обговорення результатів

Як бачимо, метод аналізу ієрархій та метод простого оцінювання принципово різняться результатами. Це наочно демонструє важливість попарного порівняння кожного критерію та врахування вагових коефіцієнтів для адекватного вибору оптимальної технології синтезу наноструктур. Такий приклад є важливим для формування у студентів однієї з ключових фахових компетентностей майбутніх нанотехнологів - володіння методами вибору оптимальних рішень для здійснення діяльності з ефективного синтезу інноваційних зразків наноструктур високого рівня якості.

Наприкінці вивчення теми студентам було запропоновано оцінити методи аналізу ієрархій та простого оцінювання. У таблиці 3.9 наведено усереднені відповіді студентів. (таблиця 3.9).

Таким чином, за переважною думкою студентів, МАІ вимагає набагато більшого ресурсу часу і є більш складним у порівнянні з простим оцінюванням. Однак він є більш ефективним, достовірним та репрезентативним.

Таблиця 3.9 – Відповіді студентів щодо оцінки методів аналізу ієрархій і простого оцінювання

Запитання	**Метод**	
	MAI	***Просте оцінювання***
1. Витрачений час	90 хвилин	30 хвилин
2. Складність за шкалою від 1 до 10	7	3
3. Достовірність за шкалою від 1 до 10	9	1
4. Ефективність за шкалою від 1 до 10	8	1
5. Нові знання за шкалою від 1 до 10	10	3

Крім того, метод аналізу ієрархій дозволяє:

- виділити та оцінити важливі критерії та показники якості наноструктур, що дозволить майбутнім фахівцям класифікувати наноматеріали за вибраними показниками та властивостями;
- вибирати оптимальне управлінське рішення щодо методу синтезу наноструктур, що дозволить оптимізувати процеси, надасть економічну перевагу та зменшить кількість помилок під час професійної діяльності;
- проводити аналіз діяльності та прогнозувати результати дій, що є ключовим умінням сучасного фахівця, який працює з наукоємними технологіями та не має права на помилку;
- володіння цим методом дозволить не лише оптимально використовувати його для вибору синтезу наноструктур, а й розширювати інші аспекти професійної діяльності, до яких можна віднести вибір методів дослідження властивостей, виділення важливих властивостей, формування поняття про рівні якості наноматеріалів тощо.

Швидкий розвиток нанотехнологічної галузі обумовлює необхідність розроблення теоретичних та методичних засад системної професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної діяльності. Слід визнати, що професійна підготовка майбутніх наноматеріалознавців сьогодні, нажаль, характеризується несистемною, фрагментарною профілізацією

загальнонаукових дисциплін, що знижує ефективність професійної підготовки майбутніх фахівців-наноінженерів.

Виклики сьогодення, такі як пандемія COVID та триваюча в Україні війна, перевели навчання у дистанційну та змішану форми. Однак підготовка наноінженерів спрямована, насамперед, на продуктивну діяльність зі створення наноматеріалів та дослідження їхніх властивостей *in situ*. Пропоновані у дослідженні підходи та методики не вимагають офлайнової форми навчання, а отже вони частково дозволять подолати наявні суперечності та сприятимуть формуванню фахових компетенцій майбутніх нанофахівців.

Література

1. Digital selective laser methods for nanomaterials: From synthesis to processing / S. Hong et al. Nano Today. 2016. Vol. 11, no. 5. P. 547–564. URL: https://doi.org/10.1016/j.nantod.2016.08.007
2. Nanomaterials via Laser Ablation/Irradiation in Liquid: A Review / H. Zeng et al. Advanced Functional Materials. 2012. Vol. 22, no. 7. P. 1333–1353. URL: https://doi.org/10.1002/adfm.201102295
3. Nanomaterial-based electrochemical sensors and biosensors for the detection of pharmaceutical compounds / L. Qian et al. Biosensors and Bioelectronics. 2021. Vol. 175. P. 112836. URL: https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112836
4. Mamun M. A. A., Yuce M. R. Recent Progress in Nanomaterial Enabled Chemical Sensors for Wearable Environmental Monitoring Applications. Advanced Functional Materials. 2020. Vol. 30, no. 51. P. 2005703. URL: https://doi.org/10.1002/adfm.202005703
5. Study of the structural and morphological characteristics of the CdxTeyOz nanocomposite obtained on the surface of the CdS/ZnO heterostructure by the SILAR method / Y. Suchikova et al. Applied Physics A. 2023. Vol. 129, no. 7. URL: https://doi.org/10.1007/s00339-023-06776-x
6. Characterization of CdxTeyOz/CdS/ZnO Heterostructures Synthesized by the SILAR Method / Y. Suchikova et al. Coatings. 2023. Vol. 13, no. 3. P. 639. URL: https://doi.org/10.3390/coatings13030639
7. Zhong M., Zhang M., Li X. Carbon nanomaterials and their composites for supercapacitors. Carbon Energy. 2022. URL: https://doi.org/10.1002/cey2.219
8. Advanced carbon nanomaterials for state-of-the-art flexible supercapacitors / P. Xie et al. Energy Storage Materials. 2021. Vol. 36. P. 56–76. URL: https://doi.org/10.1016/j.ensm.2020.12.011
9. Korpanty J., Gianneschi N. C. Exploration of Organic Nanomaterials with Liquid-Phase Transmission Electron Microscopy. Accounts of Chemical Research. 2023. URL: https://doi.org/10.1021/acs.accounts.3c00211
10. Fytianos G., Rahdar A., Kyzas G. Z. Nanomaterials in Cosmetics: Recent Updates. Nanomaterials. 2020. Vol. 10, no. 5. P. 979. URL: https://doi.org/10.3390/nano10050979 (date of access: 05.12.2023).
11. Radiolabeling nanomaterials for multimodality imaging: New insights into nuclear medicine and cancer diagnosis / J. Ge et al. Biomaterials. 2020. Vol. 228. P. 119553. URL: https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2019.119553
12. Gold nanomaterials as key suppliers in biological and chemical sensing, catalysis, and medicine / M. Falahati et al. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects. 2020. Vol. 1864, no. 1. P. 129435. URL: https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2019.129435
13. Kumar, Antul, et al. "Smart nanomaterial and nanocomposite with advanced agrochemical activities." Nanoscale Research Letters 16 (2021): 1-26.

14. Kah, Melanie, and Rai Kookana. "Emerging investigator series: nanotechnology to develop novel agrochemicals: critical issues to consider in the global agricultural context." *Environmental Science: Nano* 7.7 (2020): 1867-1873.
15. Bissessur, Rabin. "Nanomaterials applications." Polymer Science and Nanotechnology. Elsevier, 2020. 435-453.
16. Virmani, Kartik, et al. "Nanomaterials for automotive outer panel components: a review." *The European Physical Journal Plus* 136.9 (2021): 921.
17. Ivanov, Leonid A., et al. "Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part I." Nanotechnologies Construction: A Scientific Internet-Journal 13.1 (2021).
18. Ivanov, Leonid A., et al. "Inventions of scientists, engineers and specialists from different countries in the area of nanotechnologies. Part IV." *Nanotechnologies in Construction* 13.4 (2021).
19. Avramescu, Sorin Marius, et al., eds. *Engineered nanomaterials: health and safety*. BoD–Books on Demand, 2020.
20. Functional model for the synthesis of nanostructures of the given quality level / Y. O. Suchikova et al. Archives of Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 2, no. 107. P. 72–84.
21. Comandella, Daniele, et al. "Quality of physicochemical data on nanomaterials: an assessment of data completeness and variability." *Nanoscale* 12.7 (2020): 4695-4708.
22. Bonnaud, Olivier, Laurent Fesquet, and Ahmad Bsiesy. "Skilled manpower shortage in microelectronics: a challenge for the French education microelectronics network." 2019 18th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET). IEEE, 2019.
23. McCarron, Eileen. "Identification of Nanotechnology skill shortages in Ireland's Agri-food sector: Towards the safe, innovative and sustainable development of nano-food technology." (2022).
24. Yawson, Robert Mayfield. "Skill needs and human resources development in the emerging field of nanotechnology." *Journal of Vocational Education and Training* 62.3 (2010): 285-296.
25. Abicht, L., Freikamp , H. and Schumann , U. 2006 . " Identification of skill needs in nanotechnology " . In *Cedefop Panorama series; 120* , Edited by: Tessaring , M., Strietska-Ilina , O. and Zukersteinova , A. 3 – 67 . Luxembourg City : European Centre for the Development of Vocational Training .
26. Allen, E. 2005 . *Nanotechnology careers* National Nanotechnology Infrastructure Network. http://www.nnin.org/nnin_careers.html
27. Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis / Y. Suchikova et al. *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 26–28 August 2021. 2021. URL: https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575745
28. Kovachov S., Bohdanov I., Suchikova Y. Nano or Na-No? Ukraine's crisis of opportunity in nanotechnology education. *Industry and Higher Education*. 2023.
29. Research of synthesis conditions and structural features of heterostructure AlXGa1-XAs/GaAs of the "desert rose" type / Y. Suchikova et al. Applied Surface Science Advances. 2022. Vol. 12. P. 100327. URL: https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2022.100327
30. Suchikova Y., Kovachov S., Bohdanov I. Formation of oxide crystallites on the porous GaAs surface by electrochemical deposition. Nanomaterials and Nanotechnology. 2022. Vol. 12. P. 184798042211273. URL: https://doi.org/10.1177/18479804221127307
31. Suchikova, Yana, et al. "Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis." *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. IEEE, 2021.
32. Black , G. Human resources and nanotechnology . Paper presented at the Workshop on Statistics and Measurement . November 13–16 , Paris. Organization for Economic Cooperation and Development
33. Cleary , J.M. 2009 . *Nanotechnology workforce assessment: Employer skill needs and nanotechnology degree programs* , Newark, NJ : John J. Heldrich Center for Workforce

Development, Rutgers University and Center for Nanotechnology and Society, Arizona State University .
34. Appleby, Michael C. "The probability of linearity in hierarchies." *Animal Behaviour* 31.2 (1983): 600-608.
35. StatNano. Nanotechnology Products Database (NPD) https://product.statnano.com/
36. Kalaidjieva, Magdalena. "HIERARCHY: A METHOD FOR ANALYSIS AND SYNTHESIS OF HIERARCHIES AND NETWORKS." *Cybernetics & Systems* 28.2 (1997): 163-176.
37. Saaty, Thomas L. "Applications of analytical hierarchies." *Mathematics and Computers in Simulation* 21.1 (1979): 1-20.
38. Kelly, John J., and Harold GG Philipsen. "Anisotropy in the wet-etching of semiconductors." *Current opinion in solid state and materials science* 9.1-2 (2005): 84-90.
39. Kohl, Paul A. "Photoelectrochemical etching of semiconductors." *IBM journal of research and development* 42.5 (1998): 629-638.
40. Research into effect of electrochemical etching conditions on the morphology of porous gallium arsenide / S. Vambol et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6, no. 5 (90). P. 22–31. URL: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118725
41. Justification of the most rational method for the nanostructures synthesis on the semiconductors surface / Y. Suchikova et al. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2019. Vol. 1-2, no. 92. P. 19–28. URL: https://doi.org/10.5604/01.3001.0013.3184
42. Formation of Filamentary Structures of Oxide on the Surface of Monocrystalline Gallium Arsenide / S. O. Vambol et al. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2017. Vol. 9, no. 6. P. 06016–1–06016–4. URL: https://doi.org/10.21272/jnep.9(6).06016

3.2. Формування у майбутніх фахівців з наноматеріалознавства здатності модифікувати та адаптувати навчально-методичне та науково-методологічне забезпечення для провадження інноваційної діяльності

Нанотехнологічна галузь сьогодні є провідною у всьому світі завдяки стрімкому проникненню у всі сфери виробництва та індустрії [1, 2]. Сьогодні не лишилося жодного сектору промисловості, який не використовує наноматеріали та матеріали, що містять наночастинки [3 - 6]. Це зумовлено, насамперед, унікальними властивостями наноструктурованих матеріалів, які принципово покращують функціональність приладів [7, 8]. Нами неодноразово показано, що характеристики матеріалу після його наноструктурування принципово різняться від вихідної сировини [9, 10]. Разом з тим зростаюча потреба у наноматеріалах та технологій їхнього синтезу в промислових масштабах породжує попит у підготовці висококваліфікованих фахівців, здатних здійснювати інноваційну діяльність, направлену на покращення вже існуючих технологій. Основною проблемою підготовки фахівця нанотехнологічного профілю є надшвидке «старіння» навчально-методичного та науково-методологічного забезпечення для провадження інноваційної діяльності. Це зумовлюється темпами розвитку нанотехнологічної галузі. Кожен день створюються нові види наноматеріалів, швидкість виведення їх у промисловість та на ринок теж прискорюється. Тому основною задачею при підготовці сучасного нанотехнолога є формування здатності адаптувати, покращувати та модифікувати наявні наукові, методичні, методологічні ресурси під конкретний практичний запит.

Враховуючи зростаючий вплив нанотехнологій на промисловий розвиток та їхнє критичне значення для військової галузі вітчизняні та зарубіжні вчені (О. Косенко, О. Пустовий, К. Корсак, Р. Монк, М. Роко, П. Шенк, Р. Хамерс, Л. Браян тощо) наголошують на необхідності удосконалення системи підготовки майбутніх наноінженерів [11, 12]. Дослідниками пропонується усвідомлювати роль нанотехнологій не як набор різних дисциплін практичного призначення, а як окремої науки, яка має свій об’єкт, предмет, методи та методологію. Така необхідність зумовлена потребою суспільства у підготовці відповідних фахівців, здатних здійснювати продуктивну діяльність зі створення наноматеріалів, дослідження їхніх властивостей та прогнозування функціонального призначення.

Вчені та практики наголошують на проблемах створення інтегрованих курсів підготовки фахівців широкого профілю [13, 14]. У роботі [15] було проведено систематичний огляд для виявлення потреб у кваліфікації робочої сили з нанотехнологій. Авторами виноситься припущення, що у майбутньому збільшиться дефіцит кваліфікованих фахівців та розриви у навичках в галузі нанотехнологій. У роботі [16] наголошується про необхідність підтримки підготовки фахівців в галузі нанотехнологій з боку державного управління та промислових виробництв. Також дослідниками акцентується увага на наявність потреби в подальшій підготовці вчителів-предметників (хімії, фізики, біології) з нанонауки та нанотехнологій, для підвищення рівня їх обізнаності та знань і забезпечення їхньої готовності до викладання цієї теми [17]. У роботі [18] були проаналізовані різноманітні навчальні програми, які стосуються нанотехнологічних знань та охоплюють цю тематику. Результати наукової та методичної літератури вказують на три перспективи для включення тем з питань нанонауки у професійну практику: базовий підхід до розробки змісту, інтегрований зміст навчальних програм та додаткові практичні заняття, спрямовані на поглиблення знань та навичок, з акцентом на науці та техніці. Разом з тим, сьогодні ми бачимо явний дефіцит наукових доробок та публікацій з питань формування ключових компетентностей майбутніх нанотехнологій, навчання здійснювати інноваційну продуктивну діяльність та вміння модифікувати та адаптувати навчально-методичне та науково-методологічне забезпечення для провадження інноваційної діяльності.

У час розвитку нанотехнологічної галузі та проникнення у промисловий сектор нанотехнологій чітко виділяється головна проблема, що існує при підготовці фахівців нанотехнологів – а саме відсутність тісного зв’язку між виробничим сектором та закладами освіти, які здійснюють підготовкою майбутніх наноінженерів та нанотехнологів. Галузі виробництва побутових і промислових товарів, оборонних та військових технологій, електроніки та фотоніки, енергетичний сектор потребують забезпечення робочою силою, а саме кваліфікованих наноінженерів, які мають необхідні знання з фундаментальних наук володіють інноваційними технологіями і здатністю адаптувати набуті знання і навички до нових викликів.

В Україні основними проблемами підготовки наноінженерів є:

- непопулярність технічних та інженерних спеціальностей;
- дефіцит кваліфікованих викладачів та наукових кадрів, що працюють у галузі нанотехнологій;
- обмежений консенсус щодо потреб у навчанні;
- незадовільний стан матеріально-технічного забезпечення закладів вищої освіти, спричинений потребою у високотехнологічному вартісному обладнанні;
- недостатня кількість сучасного навчально-методичного забезпечення;
- недосконаліть і неузгодженість освітніх програм, які потребують державного регулювання та затвердження стандартів.

Тому зусилля держави та вищих закладів освіти повинні бути зосереджені на:

- виявленні потреб нанотехнологічної галузі;
- розробці технологій, методів та прийомів підготовки фахівців;
- залучення молоді до вступу на відповідні спеціальності;
- розробці навчально-методичного та науково-методологічного забезпечення;
- створенні умов для продуктивного навчання з метою підготовки висококваліфікованих фахівців нанотехнологічної галузі;
- покращенні матеріально-технічного забезпечення вищих закладів освіти;
- запровадження системи внутрішньої та зовнішньої мобільності здобувачів освіти для оволодіння специфічними технологіями синтезу та дослідження властивостей сучасних інженерних матеріалів тощо.

Для визначення траєкторії напрямку підготовки нанотехнологів до продуктивної інноваційної діяльності необхідно вирішити такі завдання:

- на основі аналізу потреб та тенденцій розвитку вітчизняної та світової оборонної галузі визначити перспективні напрямки синтезу наноструктур, дослідження їхніх властивостей, показників якості та можливого функціонального застосування у технологіях подвійного призначення;

- визначити зміст та структуру професійної компетентності фахівця у галузі наноматеріалознавства, здатного до створення й використання інноваційних зразків наноматеріалів і нанотехнологій в оборонній промисловості;
- з'ясувати сучасний стан та проблеми професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної діяльності у педагогічній теорії та практиці;
- теоретично обґрунтувати та розробити концепцію системної філософсько-природничо-математичної фундаменталізації професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства;
- на основі запропонованої концепції теоретично обґрунтувати та розробити модель системної фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної діяльності;
- запропонувати оновлені методи синтезу наноструктур, розробити експериментальне обладнання для дослідження властивостей наноструктур, що стане підґрунтям для створення змісту, методу та засобів навчання майбутніх фахівців створення та застосування інноваційних наноматеріалів та нанотехнологій;
- теоретично обґрунтувати та розробити моделі цілей, змісту, методу та засобу навчання створення інноваційних наноматеріалів та нанотехнологій на основі їх філософсько-природничо-математичних основ;
- розробити методики (навчально-методичне забезпечення) системного фундаменталізованого продуктивного навчання дисциплін майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, результатом якого буде синтез наноструктур, дослідження їхніх властивостей, показників якості та можливого функціонального призначення у технологіях подвійного призначення;
- експериментально перевірити ефективність розробленої системи фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців до продуктивної діяльності.

Разом з тим, вже на цьому етапі роз'язання проблеми підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавсва для формування у них здатності модифікувати та адаптувати навчально-методичне та науково-методологічне забезпечення, доцільним є запровадження таких дієвих кроків:

- визначення стану забезпечення навчально-методичними та науково-методологічними виданнями бібліотеки закладу, електронних репозитарієв та електронних архівів університету;
- визначити доступність до міжнародних баз даних наукової інформації, каталогів наноматеріалів, їхньої електронної структури та властивостей;
- дослідити поточний стан щодо доступності наукових та навчальних джерел для здобувачів ЗВО;
- провести аналіз навчального та наукового контенту, зокрема за критерієм їх актуальності.

Окреслені вище питання є важливими, нагальними та критичними, оскільки нанотехнологічні знання, як вже було зазначено вище, мають тенденцію до надшвидкого старіння та втрати актуальності. При підготовці фахівців у галузі наноматеріалознавства, на нашу думку, зусилля необхідно спрямовувати на роботу з відкритими інтернет-ресурсами. Зокрема це стосується баз патентної інформації, стандартів у галузі нанотехнологій, баз електронної структури та властивостей наноматеріалів і матеріалів, що слугують сировиною для виготовлення наноматеріалів. Це дозволить забезпечити здатність фахівця в галузі наноматеріалознавства до критичного мислення, пошуку актуальної інформації, аналізу та модифікації наявних джерел. Крім того, зараз розробляється велика кількість програмних засобів для моделювання наноструктур та дослідження їхньої поверхневої морфології. Вкрай необхідно використовувати сучасні програмні засоби при підготовці майбутнього нанотехнолога.

Резюмуючи, можемо констатувати наявне протиріччя між станом навчально-методичного та науково-методологічного забезпечення і необхідністю майбутнього нанотехнолога бути в тренді всіх новітніх розробок у галузі нанотехнологій. Протиріччя зумовлене насамперед надшвидкому старінню наявних бібліотечних ресурсів у галузі нанотехнологій. Для подолання цієї проблеми запропоновано комплексно підходити до формування ключових та

специфічних компетентностей майбутніх наноінженерів, а також обов'язково проводити навчання з використанням сучасних відкритих баз даних та спеціалізованого програмного забезпечення.

У подальшому детального дослідження потребують питання формулювання основних ідей методології вдосконалення існуючої системи з орієнтацією на формування ключових міжпрофесійних компетентностей майбутніх нанотехнологів, а також розробка дієвих механізмів підвищення рівня готовності наноматеріалознавців та наноінженерів до здійснення інноваційної діяльності у галузі наноінженерії.

Література

1. Monaico, E., Tiginyanu, I., and Ursaki, V. "Porous Semiconductor Compounds." *Semiconductor Science and Technology*, vol. 35, no. 10, 2020, p. 103001.
2. Sabataityt, J., et al. "Porous A3B5 Compounds." *Materials Science and Engineering: C*, vol. 23, nos. 1-2, 2003, pp. 43-48.
3. Misra, R., Acharya, S., and Sahoo, S. K. "Cancer Nanotechnology: Application of Nanotechnology in Cancer Therapy." *Drug Discovery Today*, vol. 15, nos. 19-20, 2010, pp. 842-850.
4. Zhu, W., Bartos, P. J., and Porro, A. "Application of Nanotechnology in Construction." *Materials and Structures*, vol. 37, no. 9, 2004, pp. 649-658.
5. Mansoori, G. A., et al. "Environmental Application of Nanotechnology." *Annual Review of Nano Research*, 2008, pp. 439-493.
6. He, X., Deng, H., and Hwang, H. M. "The Current Application of Nanotechnology in Food and Agriculture." *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 27, no. 1, 2019, pp. 1-21.
7. Suohikova, Y., et al. "Justification of the Most Rational Method for the Nanostructures Synthesis on the Semiconductors Surface." *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 92, nos. 1-2, 2019, pp. 19-28.
8. Vambol, S., et al. "Investigation of the Porous GaP Layers' Chemical Composition and the Quality of the Tests Carried Out." *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 86, no. 2, 2018, pp. 49-60.
9. Suchikova, Y. A., et al. "Usage of Porous Indium Phosphide as Substrate for Indium Nitride Films." *ECS Transactions*, vol. 33, no. 38, pp. 73.
10. Vambol, S. O., et al. "Formation of Filamentary Structures of Oxide on the Surface of Monocrystalline Gallium Arsenide." *Journal of Nano- and Electronic Physics*, vol. 9, no. 6, 2017, p. 06016.
11. Suchikova, J. A., Kidalov, V. V., and Sukach, G. A. "Preparation of Nanoporous n-InP(100) Layers by Electrochemical Etching in HCl Solution." *Functional Materials*, vol. 17, no. 1, 2010, pp. 131–134.
12. Monaico, E., Tiginyanu, I., and Ursaki, V. "Porous Semiconductor Compounds." Semiconductor Science and Technology, vol. 35, no. 10, 2020, p. 103001.
13. Sabataityt, J., et al. "Porous A3B5 Compounds." Materials Science and Engineering: C, vol. 23, nos. 1-2, 2003, pp. 43-48.
14. Misra, R., Acharya, S., and Sahoo, S. K. "Cancer Nanotechnology: Application of Nanotechnology in Cancer Therapy." Drug Discovery Today, vol. 15, nos. 19-20, 2010, pp. 842-850.
15. Zhu, W., Bartos, P. J., and Porro, A. "Application of Nanotechnology in Construction." Materials and Structures, vol. 37, no. 9, 2004, pp. 649-658.
16. Mansoori, G. A., et al. "Environmental Application of Nanotechnology." Annual Review of Nano Research, 2008, pp. 439-493.
17. He, X., Deng, H., and Hwang, H. M. "The Current Application of Nanotechnology in Food and Agriculture." Journal of Food and Drug Analysis, vol. 27, no. 1, 2019, pp. 1-21.
18. Suohikova, Y., et al. "Justification of the Most Rational Method for the Nanostructures Synthesis on the Semiconductors Surface." Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 92, nos. 1-2, 2019, pp. 19-28.

3.3. Бази даних та програмне забезпечення для підготовки фахівців в галузі наноматеріалознавства

Останніми роками на ринку праці виокреслився попит на фахівців наукоємних технологій, зокрема біофізиків, нейрофізиків, нанотехнологів тощо [1, 2]. Це зумовлено стрімким розвитком критичних технологій. Сьогодні прилади електроніки, засоби діагностики та військові технології потребують впровадження в технологічний процес найсучасніших розробок [3, 4]. Звісно, забезпечити це впровадження можливо лише за умови залучення високопрофесійних фахівців до промислового виробництва.

З іншої сторони, маємо певну невідповідність між підготовкою фахівців та запитами підприємств [5]. Це зумовлюється, перш за все, недостатнім діалогом між закладами вищої освіти та виробничою сферою. Це питання гостро підіймається вже багато десятиліть, однак досі консенсусу не знайдено.

Разом з тим, маємо позитивні рухи у цьому напрямі, зокрема залучення стейкхолдерів до розробки навчальних програм підготовки фахівців. Такий досвід дозволив зрозуміти та сформулювати основну тезу: необхідного готувати фахівця, готового до здійснення продуктивної інноваційної діяльності. Ми поступово відходимо від концепції працівника, що здійснює суто репродуктивну діяльність. Найбільш актуальним це питання є для майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства, адже нанотехнологічна галузь розвивається надшвидкими темпами, що сприяє її впровадженню у промисловий сектор [6, 7]. Наноматеріали широко використовуються у сонячній енергетиці [8, 9], у якості сенсорів [10, 11], підкладок суперконденсаторів [11, 12], лазерах [13, 14], приладах фотоніки [15, 16] тощо. Розвиток таких технологій в Україні є вкрай важливим, адже вони мають відношення, насамперед, до військових і критичних технологій [17, 18]. Як показують події сьогодення, сучасна держава повинна мати власні високотехнологічні військові розробки для забезпечення власної безпеки.

Останніми місяцями більшість студентів та викладачів України опинилися в умовах, які не дозволяють якісно здійснювати навчальний процес. Більшість вишів на деякий час призупинили навчання. Деякі вже повертаються до стандартних форм (аудиторна робота), інші – проводять заняття дистанційно. Є університети, які запроваджують технології асинхронного навчання через

неможливість проводити заняття навіть дистанційно (відсутність електрики, інтернету, активні бойові дії тощо).

Водночас з тим, програми підготовки фахівців природничих та технічних наук передбачають проведення лабораторних робіт та проходження практик на підприємствах. Звісно, в умовах війни такі форми навчання є неможливими. Це зумовлює необхідність розробки нових механізмів та використання сучасних інструментів підготовки фахівців.

У цьому розділі представлено огляд деяких відкритих баз даних та програмного забезпечення, які можуть бути ефективно використані під час підготовки фахівців в галузі наноматеріалознавства в умовах асинхронного навчання.

1. Відкрита база даних нанотехнологічної продукції StatNano

База даних нанотехнологічної продукції (NPD) [19] є найбільшим джерелом інформації про нанотехнологічні продукти, які в даний час використовуються в широкому діапазоні промислових застосувань.

NPD це [20]:

- Онлайн-сховище даних та аналізу, що надає користувачам перелік інформації про споживчі товари.
- База даних з відкритим доступом, що сприяє просуванню нанотехнологій у комерційних продуктах.
- Шлюз до останніх статистичних даних щодо нанопродуктів, доступних на ринках у всьому світі.

Основна місія бази даних полягає в зборі, аналізі та публікації інформації про продукти, продуктивність яких покращується за допомогою передових нанотехнологій, враховуючи або твердження виробників. Перевірка здійснюється на основі визначень нанотехнології та нанотехнологічної продукції, опублікованих в міжнародних стандартах ISO.

В базі даних зібрано та систематизовано інформацію про (рис. 3.3):

- Сучасні наноматеріали, використання їх у різній продукції, специфікації (рис. 3.3 a);
- Бренди та компанії, представлені на світовому ринку, які використовують або створюють наноматеріали (рис 3.3. b);

- Характеристика наноматеріалів, матеріалів, які містять наночастинки та продуктів, якісні характеристики яких покращено за допомогою використання наноматеріалів (рис 3.3. c);
- Базу даних патентів та стандартів, які стосуються нанотехнологічної галузі, їхній стан впровадження (рис. 3.3 d).

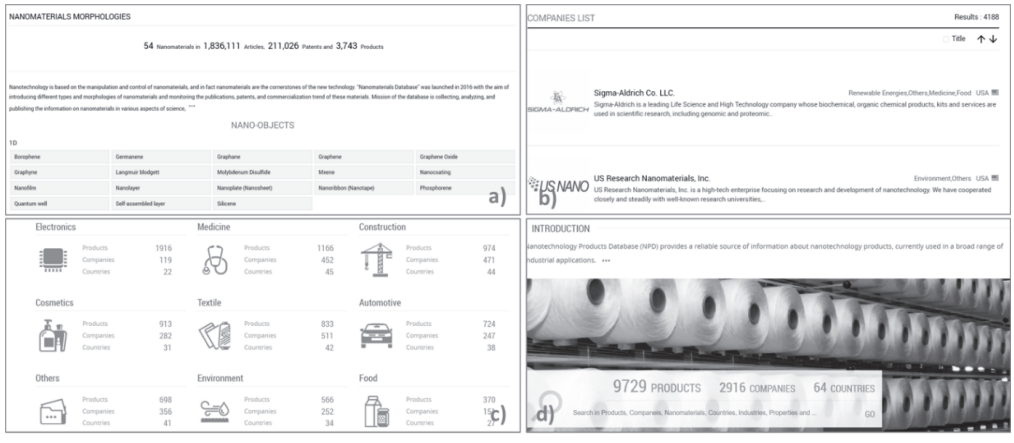

Рисунок 3.3 – Інтерфейс сайту Бази даних нанотехнологічної продукції [20]

Так, наприклад за допомогою NPD можна проаналізувати скільки сьогодні зареєстровано продуктів та пристроїв електроніки, які створені на основі наноматеріалів (рис. 3.4). Можемо бачити, що сьогодні зареєстровано вже 1916 продуктів, які поділені на 52 типи. Ця продукція створена 119 найпотужнішими компаніями в 22 країнах світу.

Аналогічно можна проаналізувати базу даних стандартів у галузі нанотехнологій (рис.3.5). Можемо бачити, що сьогодні вже прийнято 3041 стандарт. Місія бази даних полягає в зборі, аналізі та поширенні інформації про стандарти, пов’язані з нанотехнологіями. Пошук стандартів нанотехнологій здійснюється за допомогою рядка пошуку нанотехнологій на веб-сайтах національних та міжнародних організацій зі стандартизації як основних джерел для бази даних. У цій базі даних стандарти класифікуються відповідно до статусу, рівня, року, організації, країни та класифікації [23].

Рисунок 3.4 – Продукти та пристрої електроніки, які створені на основі наноматеріалів [19]

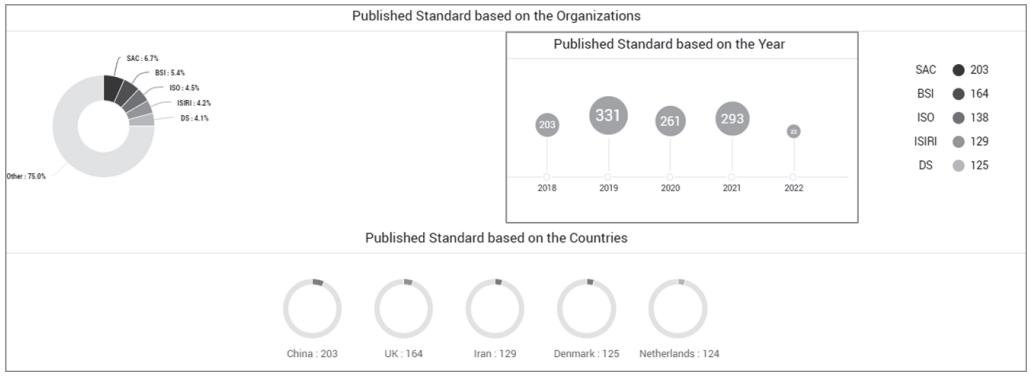

Рисунок 3.5 – База даних стандартів, прийнятих у галузі нанотехнологій [23]

Майбутні фахівці в галузі наноматеріалознавства можуть отримати глибше розуміння застосувань і характеристик різних наноматеріалів, властивостей та застосувань. За допомогою цієї бази даних можна проаналізувати тренди у нанотехнологічній галузі та визначитися з перспективами своєї подальшої професійної діяльності. Застосування NPD в технологіях асинхронного навчання є більш ніж доцільним, адже інформація, зібрана у базі даних є невичерпною та поповнюється кожний день. Викладач може скеровувати самостійну діяльність здобувачів, надаючи їм завдання та вказівки щодо аналізу наноматеріалів та нанотехнологічної продукції. В свою чергу, здобувачі можуть в будь-який зручний час працювати з базою.

Крім того, усі відвідувачі NPD можуть додавати продукт до бази даних самостійно. Експерти NPD перевіряють представлену продукцію за

міжнародними стандартами, а продукцію відображатимуть на NPD, якщо вона вважається нанотехнологічною. Таким чином, вже на етапі навчання майбутній нанотехнолог може успішно перейти від репродуктивної діяльності до продуктивної, створюючи нові наноматеріали та розміщуючи їх у відкритих базах даних.

2. Відкрита кристалографічна база даних

Ще один неймовірно корисний ресурс для майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства - Crystallography Open Database (COD) [24] (рис. 3.6). Відкрита колекція кристалічних структур органічних, неорганічних, металоорганічних сполук і мінералів включає також дані та програмне забезпечення від CrystalEye, розроблене Ніком Деєм на кафедрі хімії Кембриджського університету під керівництвом Пітера Мюррея-Раста. Всі дані на цьому сайті були розміщені у відкритому доступі авторами. COD розміщує також на своєму сайті актуальні новини, які стосуються нанотехнологій. Сьогодні на першій сторінці сайту розміщена така новина: «Консультативна рада відкритої бази даних «Кристалографія» сильно стурбована агресією російських збройних сил в Україні. Ми засуджуємо військове вторгнення Путіна в Україну, щиро підтримуємо боротьбу українського народу за свободу та закликаємо до негайного мирного вирішення конфлікту, поважаючи територіальну цілісність усіх країн, визнаних міжнародними договорами» [24]. Наразі в COD є 487652 записи.

COD має зручний пошук, за яким майбутні фахівці в галузі наноматеріалознавства можуть самостійно ознайомити з кристалографічними параметрами багатьох матеріалів (рис. 3.7). При цьому матеріали можна шукати за кодом, формулою, структурною формулою, елементами тощо.

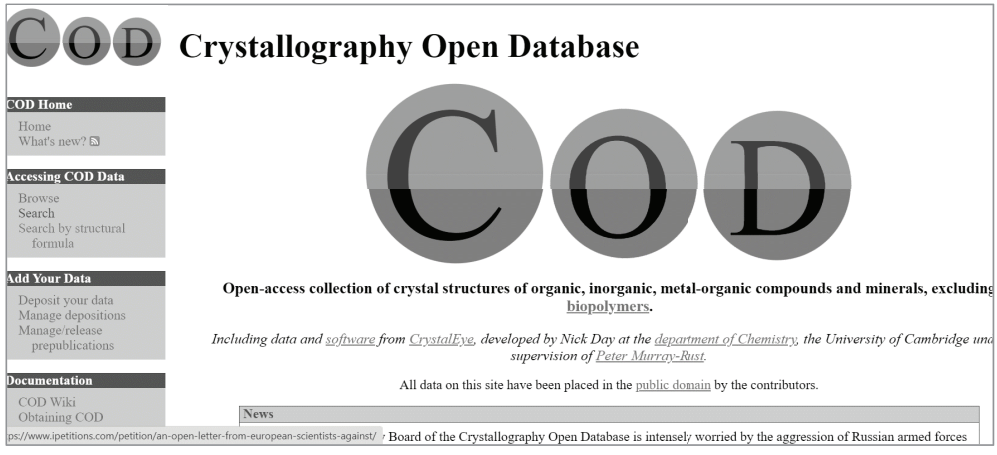

Рисунок 3.6 – Інтерфейс сайту відкритої кристалографічної бази [24]

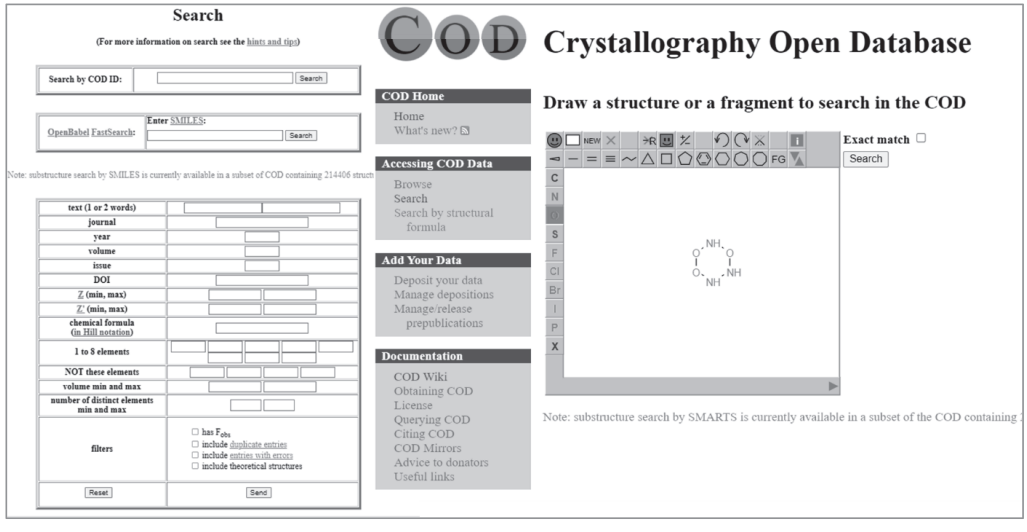

Рисунок 3.7 – Інтерфейс сторінок пошуку матеріалів Crystallography Open Database

У якості прикладу можна навести використання цієї бази для отримання інформації про кристалографічну будову та параметри напівпровідника InP. Так, у пошуку необхідно ввести елементи In та P і обмежити кількість елементів в матеріалі до 2. Пошук дає нам 6 результатів, кожен з яких має певні відмінності в даних (рис. 3.8). Можна бачити, що аналіз проводиться по параметрам кристалічної гратки, об'єму гратки та Space group. Також можливо завантажити

інформацію про напівпровідник за кодом або файлом формату .CIF. Таким чином, ця база є потужним інструментом для отримання великого масиву даних та ознайомлення з кристалографічною структкрою майже всіх кристалічних матеріалів які зараз існують. Майбутні фахівці в галузі наноматеріалознавства можуть використовувати її у самостійній дослідницькій роботі. Звісно, основною перевагою COD є відкритість.

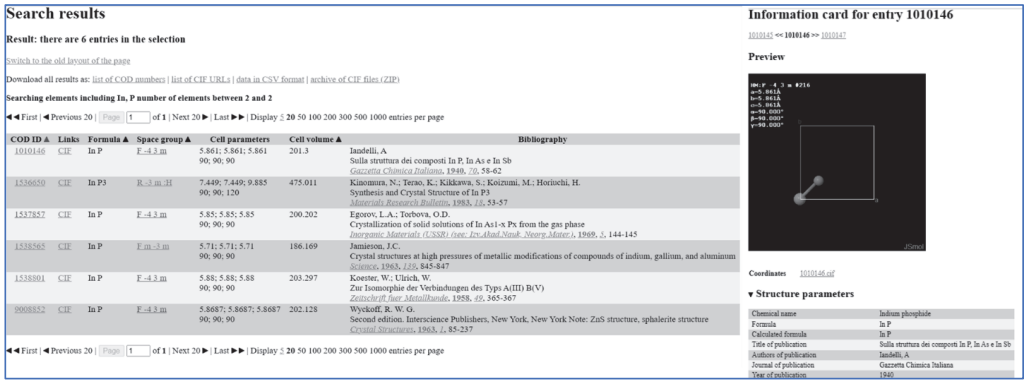

Рисунок 3.8 – Результати пошуку за запитом «In, P» по Crystallography Open Database

3. VESTA – програма для візуалізації структурних моделей кристалів

Вище ми проаналізували дві зручні та відкриті бази даних, які можуть стати у нагоді майбутнім фахівцям в галузі наноматеріалознавства. Однак для вивчення структурних параметрів кристалів недостатньо використовувати лише бази даних. Фахівець в галузі наноматеріалознавства повинен вміти будувати кристалічні моделі речовин для того, щоб прогнозувати властивості наноматеріалів, що створені на основі кристалічних речовин. Тому є необхідність використовувати програми візуалізації структурних моделей, об’ємних даних, таких як електронна/ядерна густина та морфологія кристалів. Найкращим інструментом насьогодні можна назвати програмне забезпечення VESTA [25] (рис. 3.9).

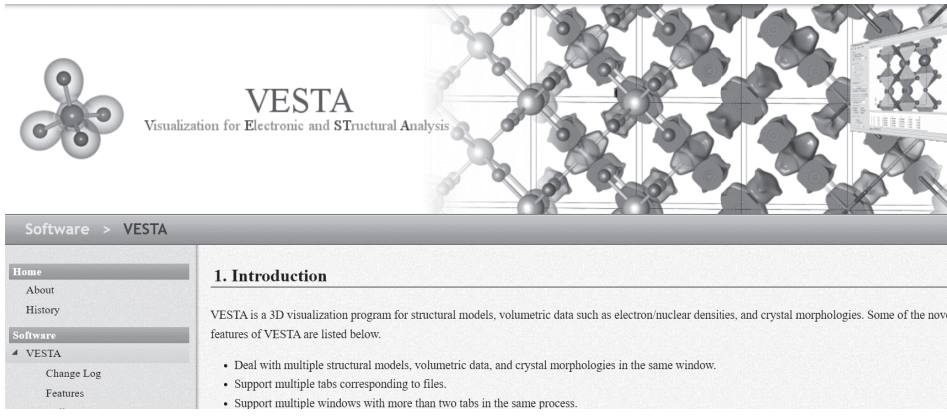

Рисунок 3.9 – Інтерфейс сайту VESTA

VESTA має широкий функціонал, зокрема дозволяє:

- працювати з кількома структурними моделями, об’ємними даними та морфологією кристалів в одному вікні;
- працювати з практично необмеженою кількістю об’єктів, таких як атоми, багатогранники зв’язків і багатокутники на ізоповерхнях;
- перетворювати кристалічну гратку від звичайної до нетрадиційної за допомогою матриці;
- візуалізувати міжатомні відстані та кути зв’язку, які обмежені в аналізі Рітвельда за допомогою RIETAN-FP;
- перекривати прозорі ізоповерхні структурними моделями;
- здійснювати арифметичні операції між кількома файлами об’ємних даних;
- експортувати графічні зображення з високою роздільною здатністю, що перевищують обмеження відеокарти.

Розробники програми постійно доповнюють її функціонал, наразі надано такі додаткові можливості та функції VESTA 3 [25]:

- візуалізація морфології кристалів;
- накладання кількох структурних моделей, об’ємних даних та граней кристалів на одну й ту саму графічну область;
- візуалізація ізоповерхень з кількома рівнями;

- розширений алгоритм пошуку зв’язків, що дозволяє здійснювати більш складний пошук у складних молекулах, клітинних структурах тощо;
- розрахунки електронної та ядерної густини за параметрами структури;
- розрахунки густин функції Паттерсона за параметрами структури або об’ємними даними;
- інтегрування електронної та ядерної густин методом теселації Вороного;
- значні покращення продуктивності візуалізації ізоповерхень та обчислення зрізів;
- вивести інформацію про головні осі та середньоквадратичні переміщення для анізотропного теплового руху;
- визначення найкращої площини для виділених атомів;
- відображення міток атомів;
- налаштування стилів для сайтів або типів облігацій;
- налаштування операцій симетрії;
- покращення введення файлів різних форматів;
- підтримка відміни та повтору в операціях GUI.

Так, використовуючи файл формату .CIF, який міститься у Crystallography Open Database, можна отримати вже побудовану кристалічну гратку речовини, а також отримати вичерпну інформацію про структурні характеристики (рис. 3.10, 3.11). Зручний компас дозволяє отримувати різні проєкції гратки простим обертанням. Також, можна вибрати зручні форми представлення гратки, які будуть відображати лише атоми, лише зв’язки або і те і те разом.

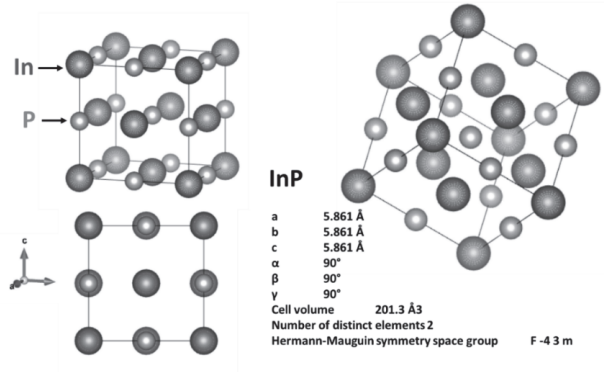

Рисунок 3.10 – Кристалічна гратка InP у різних проєкціях, отримана за допомогою програми VESTA

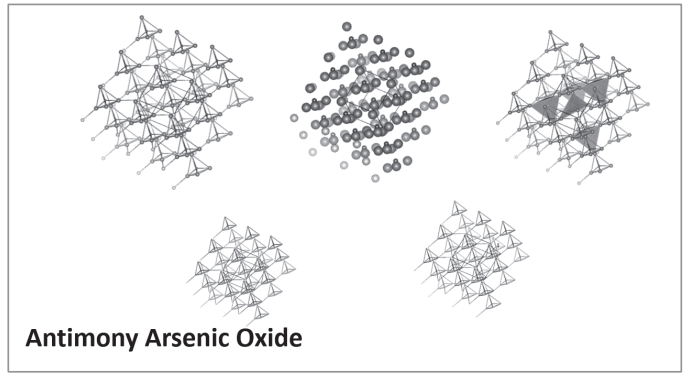

Рисунок 3.11 – різні форми представлення кристалічної гратки при однаковій проєкції в VESTA

Можливості програми VESTA дуже широкі і вимагають розробки окремого навчального курсу для майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства, однак інтерфейс програми доволі зручний та інтуітивно зрозумілий для того, щоб самостійно проводити моделювання та опановувати основи кристалографії.

У дослідженні ми дуже кратко та оглядово проаналізували зручні інстументи та технології асинхронного навчання при підготовці фахівців в галузі наноматеріалознавства. Звісно, таких інструментів існує багато і кожен з них може бути використаний не тільки дослідниками і вченими, а й студентами при виконанні самостійної роботи під час запровадження дистанційної роботи в синхронному або асинхронному режимі. При цьому з'являється можливість будувати власну траєкторію навчання, опановуючи нові інструменти та методики для формування ключових фахових компетенцій.

Використання відкритих баз даних нанотехнологічних та кристалічних матеріалів, а також моделювання структури речовин стане запорукою підвищення рівня готовності майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства до здійснення продуктивної діяльності. За такого підходу здобувач будь-якого рівня навчання виступає у ролі дослідника, здатного самостійно здійснювати пошукову та практичну діяльність навіть в умовах дистанційного навчання. Під практичною діяльністю тут розуміється діяльність майбутніх фахівців у сферах розробки, проектування, синтезу та використання наноструктур, дослідження їхніх властивостей та показників якості, перевірка відповідності функціональному призначенню тощо.

Таким чином, у представленому досліджені нами проаналізовано дієві інструменти підвищення рівня готовності майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства до здійснення продуктивної діяльності. Представлено бачення авторів щодо технологій та засобів асинхронного навчання. Зокрема, проаналізовано відкриті бази нанотехнологічної продукції та кристалічних матеріалів, а також програмні продукти моделювання кристалічної структури речовин. Показано, що здобувач може самостійно опановувати цими інструментами, що частково вирішує проблеми відсутності доступу до лабораторного практикуму та продуктивної діяльності з синтезу наноматеріалів.

У подальшому необхідно провести визначення шляхів модернізації існуючої моделі навчання нанотехнологіям у зв'язку з нагальною потребою реалізації стратегії підготовки висококваліфікованих фахівців у найбільш затребуваних та перспективних секторах майбутнього з урахуванням вимог бізнесу, національної безпеки, оборонних технологій, суспільства та держави. Необхідним також є теоретичне обґрунтування та експериментальна перевірка ефективності визначеного підходу у навчанні наноінженерії для формування необхідних загальних та фахових компетентностей майбутнього наноматеріалознавця.

Література

1. Poteralska, Beata, Joanna Zielinska, and Adam Mazurkiewicz. "The Development of Education and Training Systems in the Field of Nanotechnology." *Journal of College Teaching & Learning (TLC)*, vol. 4, no. 6, 2007.
2. Yawson, R. M. "Skill Needs and Human Resources Development in the Emerging Field of Nanotechnology." *Journal of Vocational Education and Training*, vol. 62, no. 3, 2010, pp. 285-296.
3. Altmann, J. "Military Uses of Nanotechnology: Perspectives and Concerns." *Security Dialogue*, vol. 35, no. 1, 2004, pp. 61-79.
4. Tiwari, Anupam. "Military Nanotechnology." *International Journal of Engineering Science and Advanced Technology*, vol. 2, no. 4, 2012, pp. 825-830.
5. Invernizzi, N. "Nanotechnology Between the Lab and the Shop Floor: What Are the Effects on Labor?" *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 13, no. 6, 2011, pp. 2249-2268.
6. He, X., Deng, H., and Hwang, H. M. "The Current Application of Nanotechnology in Food and Agriculture." *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 27, no. 1, 2019, pp. 1-21.
7. Suohikova, Y., et al. "Justification of the Most Rational Method for the Nanostructures Synthesis on the Semiconductors Surface." *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 92, nos. 1-2, 2019, pp. 19–28.
8. Vambol, S., et al. "Investigation of the Porous GaP Layers' Chemical Composition and the Quality of the Tests Carried Out." *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, vol. 86, no. 2, 2018, pp. 49–60.
9. Suchikova, Y. O., et al. "Optimal Ranges Determination of Morphological Parameters of Nanopatterned Semiconductors Quality for Solar Cells." *Archives of Materials Science and Engineering*, vol. 101, no. 1, 2020, pp. 15–24.
10. Vambol, S. O., et al. "Formation of Filamentary Structures of Oxide on the Surface of Monocrystalline Gallium Arsenide." *Journal of Nano- and Electronic Physics*, vol. 9, no. 6, 2017, p. 06016.

11. Poteralska, Beata, Joanna Zielinska, and Adam Mazurkiewicz. "The Development of Education and Training Systems in the Field of Nanotechnology." Journal of College Teaching & Learning (TLC), vol. 4, no. 6, 2007.
12. Yawson, R. M. "Skill Needs and Human Resources Development in the Emerging Field of Nanotechnology." Journal of Vocational Education and Training, vol. 62, no. 3, 2010, pp. 285-296.
13. Altmann, J. "Military Uses of Nanotechnology: Perspectives and Concerns." Security Dialogue, vol. 35, no. 1, 2004, pp. 61-79.
14. Tiwari, Anupam. "Military Nanotechnology." International Journal of Engineering Science and Advanced Technology, vol. 2, no. 4, 2012, pp. 825-830.
15. Invernizzi, N. "Nanotechnology Between the Lab and the Shop Floor: What Are the Effects on Labor?" Journal of Nanoparticle Research, vol. 13, no. 6, 2011, pp. 2249-2268.
16. He, X., Deng, H., and Hwang, H. M. "The Current Application of Nanotechnology in Food and Agriculture." Journal of Food and Drug Analysis, vol. 27, no. 1, 2019, pp. 1-21.
17. Suohikova, Y., et al. "Justification of the Most Rational Method for the Nanostructures Synthesis on the Semiconductors Surface." Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 92, nos. 1-2, 2019, pp. 19–28.
18. Vambol, S., et al. "Investigation of the Porous GaP Layers' Chemical Composition and the Quality of the Tests Carried Out." Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, vol. 86, no. 2, 2018, pp. 49–60.
19. StatNano. URL: https://statnano.com/
20. Nanotechnology Products Database. URL: https://product.statnano.com/introduction
21. ISO/TS 80004-1:2015. Nanotechnologies – Vocabulary – Part 1: Core terms.
22. ISO/TS 18110:2015. Nanotechnologies — Vocabularies for science, technology and innovation indicators.
23. Standard Database. URL: https://statnano.com/standard/introduction
24. Crystallography Open Database. URL: http://www.crystallography.net/cod/
25. VESTA. URL: https://jp-minerals.org/vesta/en/

3.4 Метод продуктивного навчання майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства синтезу наноматеріалів

Сучасний стрімкий розвиток технологічних галузей вимагає від системи вищої освіти підготовки компетентних фахівців у галузі наноматеріалознавства, здатних застосовувати на практиці новітні досягнення сучасної науки, творчо використовувати та створювати інноваційні наноматеріали і впроваджувати нанотехнології [5]. Однак підготовка таких висококваліфікованих фахівців в умовах традиційної системи освіти дуже ускладнена. Це пов'язано з тим, що: по-перше, формування професійної компетентності цього фахівця передбачає набуття ним досвіду науково-дослідної діяльності із синтезу наноматеріалів і вивчення їх властивостей, що може забезпечити далеко не кожен заклад вищої освіти через брак фінансування; і по-друге, переважно теоретичною репродуктивною підготовкою студентів, яка складається із великої кількості різнорідних дисциплін, зміст яких характеризується несистемною і фрагментарною професійною спрямованістю, інтеграцією, а отже – фундаменталізацією.

Теоретичні та методичні аспекти навчання нанотехнологій майбутніх фахівців різних спеціальностей у закладах вищої освіти досліджували такі вчені як: С. Величко, Н. Валько, О. Завражна, Ю. Ткаченко, Г. Шойинбаєва, В. Шарощенко (педагогічна освіта), С. Даньшева, Т. Куценко, М. Михайлюк, Г. Подус, Д. Череднік (технічна освіта).

Підґрунтям для дослідження також є роботи Т. Сааті, присвячені застосуванню методу аналізу ієрархій [4] для вибору оптимального рішення про технологію синтезу наноструктур.

Проведений аналіз здобутків і результатів досліджень науковців з проблем підготовки майбутніх нанотехнологів у закладах вищої освіти дозволив визначити, що методика навчання цих фахівців продуктивної професійної діяльності із синтезу нових наноматеріалів є мало розробленою проблемою. На не розробленість означеної проблеми також вказує і відсутність стандарту вищої освіти для спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали для другого (магістерського) рівня.

Оскільки нанотехнології дуже швидко розвиваються, тому для забезпечення перспективності знань і вмінь студентів необхідно навчити їх не стільки знань про існуючі зразки наноматеріалів та їх структури, а методів їх створення на основі фундаментальних законів і понять.

Для фундаменталізації навчання майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства синтезу наноструктур, на нашу думку, необхідно застосувати системний підхід. Для цього нами на основі базової ознакової моделі репрезентації поняття об'єкту технічної галузі М. Лазарєва [2], розроблено узагальнену ознакову модель репрезентації поняття базового матеріалу P (1), з якого можливо синтезувати наноматеріал:

$$P=\{R_j, C_j, S_j, H_j\}, j=1..n \quad (3.1)$$

де P поняття про базовий матеріал, R_j – множина варіантів застосування цього матеріалу, C_j – його склад, S_j – варіанти структури, H_j – властивості.

Оскільки, будь-який метод є системою усвідомленої послідовності дій людини, які сприяють досягненню результату, що відповідає визначеній меті [1, с. 163], тому метод продуктивного навчання майбутніх нанотехнлогів повинен відображати алгоритм синтезу наноматеріалів.

У зв'язку з цим, перш за все, необхідно розглянути узагальнений алгоритм професійної діяльності фахівців в галузі наноматеріалознавства зі створення нових зразків наноматеріалів із заданими властивостями для застосування їх у конкретних галузях виробництва. Для того, щоб базовий матеріал P набув потрібних нових характеристик, необхідно змінити його структуру (наноструктуру) шляхом певної технології синтезу T (хімічного травлення [3, с. 186], фотоелектрохімічного травлення [3, с. 187], імпрінтінг літографії [3, с. 188], тощо). В загальному випадку вибір технології синтезу будь-якого нового наноматеріалу передбачає аналіз вже існуючих типових зразків, аналогічних тому, що необхідно створити, на предмет їх практичного застосування, складу, наноструктури, властивостей, а також технологій їх створення. Подальше виявлення закономірностей між властивостями існуючих зразків наноматеріалів і технологією їх створення дозволяє обрати найбільш оптимальну, ту яка буде задовольняти по ряду параметрів, і змінити в ній деякі умови (технологічні I та рецептурні A чинники) (рис. 3.12).

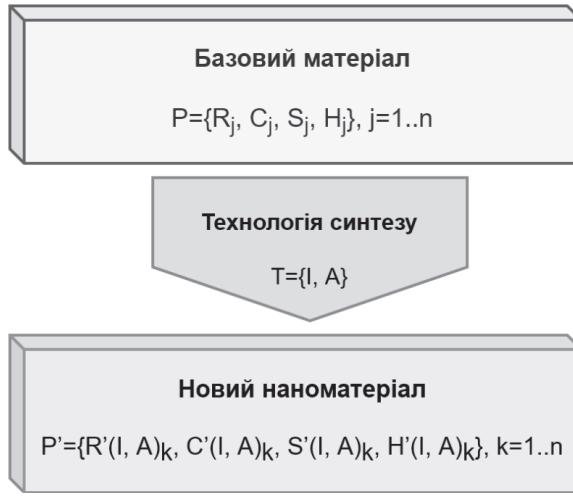

Рисунок 3.12 – Структурно-функціональна схема отримання з базового матеріалу нового нанонематеріалу

Тоді поняття про новий наноматеріал із новою наноструктурою матиме вигляд:

$$P'=\{R'(I, A)_k, C'(I, A)_k, S'(I, A)_k, H'(I, A)_k\}, k=1..n \quad (3.2)$$

де P' поняття про інноваційний наноматеріал, R'_k – множина варіантів застосування цього наноматеріалу, C'_k – оновлений склад наноматеріалу, S'_k – варіанти нової структури, H'_k – нові властивості, T={I, A} – технологія синтезу наноматеріалу, яка характеризується технологічними I та рецептурними A чинниками.

Визначення закономірностей та вибір оптимального рішення про застосування тієї чи іншої технології синтезу нових зразків наноматеріалів високої якості фахівцями з наноматеріалознавства відбувається на основі широко розповсюдженого методу аналізу ієрархій [4]. Він ґрунтується на порівнянні наявних альтернатив (технологій синтезу) з метою вибору оптимального рішення. Основу методу аналізу ієрархій складає декомпозиція проблеми на більш прості складові частини і подальша обробка суджень на кожному ієрархічному рівні за допомогою парних порівнянь [5]. В результаті може бути виражена відносна ступінь (інтенсивність) взаємодії елементів в аналізованому ієрархічному рівні або перевага одних елементів по відношенню до інших [4].

Алгоритм перетворення моделі (1) на модель (2) відображає професійну діяльність фахівців в галузі наноматеріалознавства із синтезу нового наноматеріалу і тому може бути використаний при розробленні методу продуктивного навчання майбутніх нанотехнологів синтезу наноматеріалів. Такий підхід дозволить майбутнім фахівцям у галузі наноматеріалознавства оцінювати результати не тільки своєї практичної діяльності, а й сформувати навички прогнозування.

Як нами було визначено в роботі [1] для організації продуктивної навчально-пізнавальної діяльності студентів необхідне комплексне використання традиційних методів навчання (проблемно-інформаційних, евристичних, дослідницьких) та методу продуктивного навчання майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства синтезу нових наноматеріалів.

Основними етапами методу продуктивного навчання повинні бути мотиваційно-цільовий, підготовчо-змістовний, операційно-діяльнісний, контрольно-корекційний та оцінно-результативний [1, с. 165].

Отже, враховуючи зазначене вище, нами розроблено узагальнену модель методу продуктивного навчання майбутніх нанотехнологів синтезу наноматеріалів, яку наведено на рис. 3.13.

На першому кроці методу (мотиваційно-цільовий етап) студентам необхідно визначити проблему синтезу нового наноматеріалу. Це може бути покращення однієї або декількох характеристик базового матеріалу або існуючих зразків наноматеріалів, чи розширення області їх застосування. Результатом діяльності студентів на цьому кроці має бути перелік бажаних властивостей та галузь застосування нового наноматеріалу P’. На цьому етапі доцільно використовувати метод евристичних питань з метою постановки навчальної задачі та мотивації студентів на подальшу діяльність із її розв’язання.

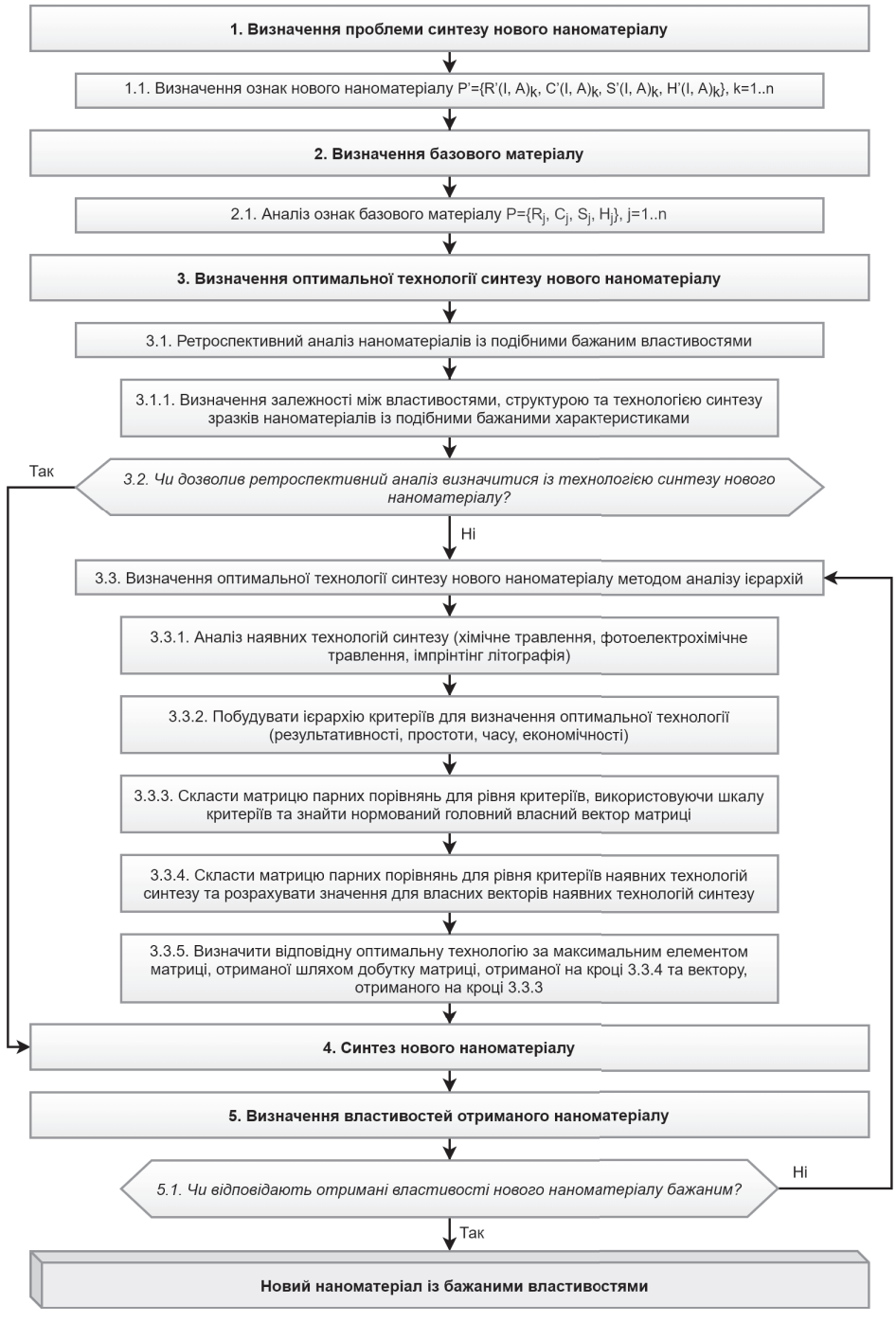

Рисунок 3.13 – Модель методу продуктивного навчання синтезу наноматеріалів

На другому кроці методу (підготовчо-змістовний етап) за допомогою евристичних питань студентам необхідно визначити початковий стан базового матеріалу, визначивши його ознаки відповідно до моделі (1).

Метою третього кроку методу (операційно-діяльнісний етап) є визначення оптимальної технології синтезу нового наноматеріалу. Студентам спочатку пропонується шляхом ретроспективного аналізу існуючих зразків із подібними бажаним властивостями, структурою та галуззю застосування визначити технологію синтезу нового наноматеріалу. Якщо це не вдалося, то потрібно перейти на крок 3.3 – визначити оптимальну технологію синтезу нового наноматеріалу методом аналізу ієрархій [4], розробленим Т. Сааті.

Для спрощення умов навчальної задачі студентам необхідно обрати оптимальну технологію створення нового наноматеріалу лише серед трьох типових методів синтезу наноструктур на поверхні напівпровідників, а саме: хімічного травлення [3, с. 186], фотоелектрохімічного травлення [3, с. 187] та імпрінтінг літографії [3, с. 188]. Для цього необхідно провести аналіз наявних технологій синтезу (крок 3.3.1); за критеріями результативності, простоти, часу та економічності, побудувати ієрархію цих критеріїв (крок 3.3.2) на основі шкали відносної вагомості Т. Сааті; скласти матрицю парних порівнянь для рівня критеріїв наявних технологій синтезу та розрахувати значення для власних векторів наявних технологій синтезу (крок 3.3.3). Далі потрібно знайти добуток матриці, отриманої на кроці 3.3.4, та вектору, отриманого на кроці 3.3.3. Максимальний елемент в отриманій матриці вказуватиме на відповідну оптимальну технологію синтезу нового наноматеріалу.

Четвертий крок методу передбачає безпосереднє травлення пористої структури на поверхні напівпровідника за обраною технологією. Вибір технологічних та рецептурних чинників технології студенти здійснюють за допомогою евристичних питань та технологічних карт.

На п’ятому кроці методу (контрольно-корекційний етап) здійснюється перевірка отриманих властивостей нового наноматеріалу на відповідність бажаним. Якщо отримані характеристики не задовольняють умові задачі, то треба повернутися до кроку 3.3 методу і виконати усі кроки знову.

На шостому кроці методу (оцінно-результативний етап) майбутні фахівці в галузі наноматеріалознавства досліджують створений новий наноматеріал, можливі галузі його застосування, виявляють закономірності між технологічними і рецептурними чинниками застосованої технології синтезу, створеною наноструктурою і новими властивостями, визначають перспективи покращення характеристик отриманого наноматеріалу.

Розроблений метод продуктивного навчання синтезу наноматеріалів відповідає структурі професійної діяльності фахівців в галузі наноматеріалознавства, є комбінованим, і передбачає застосування методу евристичних питань, ретроспективного аналізу та методу аналізу ієрархій для вибору оптимальної технології синтезу нового наноматеріалу із заданими властивостями.

Застосування методу аналізу ієрархій для організації продуктивного навчання майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства дозволяє сформувати в них здатність орієнтуватися в особливостях і специфіці сучасних наноматеріалів, обирати оптимальне управлінське рішення щодо методу синтезу наноструктур, оптимізувати процеси та прогнозувати результати дій, а також надає економічну перевагу і зменшує кількість помилок.

Використання розробленого методу продуктивного навчання синтезу наноматеріалів в навчальному процесі професійної підготовки майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства сприяє формуванню в них розуміння методології, теорії та практики досліджень, а також досвіду дослідницької діяльності.

Література

1. Бардус, І. О. *Фундаменталізація Професійної Підготовки Майбутніх Фахівців У Галузі Інформаційних Технологій До Продуктивної Діяльності: Монографія*. ПромАрт, 2018.
2. Лазарєв, М. І. *Полісистемне Моделювання Змісту Технологій Навчання Загальноінженерних Дисциплін: Монографія*. Вид-во НФаУ, 2003.
3. Сичікова, Я. О. *Науково-Методологічні Засади Оцінювання Якості Й Властивостей Наноструктур На Поверхні Напівпровідників: Дис… Доктора Тех. Наук*. Бердянський Державний Педагогічний Університет; Національний Науковий Центр «Інститут Метрології» Міністерства Економічного Розвитку І Торгівлі України, 2018.
4. Saaty, T. L. "Decision Making with the Analytic Hierarchy Process." *International Journal of Services Sciences*, vol. 1, no. 1, 2008, pp. 83-98.
5. Suchikova, Y., et al. "Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis." *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering*, 26-28 Aug. 2021, Lviv, pp. 584-588.

3.5. Навчання майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства аналізу мікроскопічних зображень наноструктур

Сьогодні нанотехнологічна галузь проникає у всі ланки нашого життя. Нанотехнології використовуються у всіх галузях промисловості. На основі наноматеріалів створюються сучасні електронні пристрої. Широко використовуються вони у якості лазерів та сенсорів. Позитивно зарекомендували себе матеріали з наночастками у медицині, косметиці та хімічному секторі. Така тенденція буде зберігатися і надалі, так як наноструктурування промислових матеріалів дозволяє надати їм нових властивостей та покращити вже існуючі.

У цьому аспекті важливим стає підготовка фахівців, які володіють відповідними компетентностями. Зараз важливими стають такі вміння, як: вміння синтезувати наноматеріали, прогнозувати їхні властивості, аналізувати морфологічні та хімічні характеристики, оцінювати наноматеріали за рівнем якості, передбачувати функціональне призначення наноматеріалу тощо.

Уряди багатьох країн запроваджують програми підтримки нанотехнологій. Питаннями нормативного регулювання в галузі нанотехнологій займається досить велика кількість організацій: Міжнародна Рада управління ризиками; Агентство захисту навколишнього середовища США; Агентство контролю й регулювання харчових продуктів та ліків США; Агентство по контролю за хімічною продукцією; підкомітет експертів з глобальної гармонізації системи класифікації та маркування хімікатів Комітету експертів з транспортування небезпечних вантажів та по глобальній гармонізації системи класифікації та маркування хімікатів Секретаріату ООН; Комісія Європейських Комітетів тощо.

Багато з цих організацій зазначають у своїх доповідях про необхідність підготовки фахівців з наноматерілознавства. Складність цього питання постає, насамперед, у невизначеності галузі науки, до якої відносяться інженери-нанотехнологи. Так, сучасний наноматеріалознавець повинен володіти фундаментальними знаннями з фізики, хімії, біології, математики тощо. Такий фахівець повинен вміти моделювати нанооб’єкти та процеси, що відбуваються під час синтезу наноматеріалів. Крім того, до фахівця, який працює у галузі нанонауки, пред’являються специфічні вимоги, зумовлені безпосереднім застосуванням наноматеріалу в тій чи іншій сфері промисловості.

Тож, виходячи з вищезазначеного, головною метою професійної підготовки майбутніх нанотехнологів у закладі вищої освіти повинна бути їх підготовка до продуктивної діяльності, яка передбачає творче використання та створення інноваційних наноматеріалів і впровадження нанотехнологій. Ефективне виконання такої діяльності потребує від нанотехнолога не тільки ґрунтовних предметних знань і вмінь (фахових компетентностей), а, перш за все, вимагає володіння когнітивними здібностями, що спрямовані на прийом і обробку інформації, вирішення задач і генерування нових ідей.

Однак в умовах традиційної системи навчання майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства, орієнтованої переважно на репродуктивне засвоєння навчального матеріалу, формування означених професійно важливих якостей особистості є мало ефективним. Так, традиційні засоби та методики оцінювання наноматеріалів сьогодні є неефективними. Необхідним є оптимізація засобів навчання для аналізу складних нанотехнологічних систем.

Одним з важливих навичок, якими повинен володіти майбутній фахівець в галузі наноматеріалознавства є методи обробки та оцінювання морфологічних характеристик наноматеріалів, а саме дослідження мікроскопічних зображень нанооб'єктів за допомогою програмного продукту ImageJ. Ми аналізуємо доцільність його використання для підготовки фахівців-нанотехнологів.

В основу дослідження покладено припущення про те, що вищої ефективності підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства можна досягти за умови безпосереднього залучення здобувачів до науково-дослідної та виробничої і предметної діяльності у галузі нанотехнологій, а саме дослідження властивостей сучасними методами на основі спеціальних програмних продуктів.

Гіпотези пропонованого дослідження пов'язані з вивченням результатів розробки елементів методики навчання наноотехнологів аналізу морфологічних показників наноструктур шляхом застосуваня сучасних програмних продуктів, до яких відносяться:

1. Якість оцінювання морфологічних показників наноструктур набагато вища при застосуванні програмних продуктів, ніж при суто візуальному аналізі;
2. Дослідження морфологічних показників наноструктур за допомогою програмного продукту ImageJ дозволяють класифікувати нанооб'єкти,

прогнозувати їхні властивості та встановлювати кореляційні залежності між показниками наноструктур та режимами синтезу;

3. Висока продуктивність студентів та задоволеність результатами праці. Забезпечення цілеспрямованого формування у студентів когнітивних професійно важливих якостей особистості дозволить підвищити конкурентоспроможность майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

У дослідженні взяли участь здобувачі другого (магістерського) рівня, які навчаються за програмами підготовки «Прикладна фізика та наноматеріали». Дослідження проводилося у межах викладання навчальних курсів «Сучасні наноматеріали» та «Функціональні матеріали».

Студентам було запропоновано оцінити морфологічні показники наноструктур, синтезованих на поверхні напівпровідників. Оцінювання відбувалося по мікроскопічним зображення наноматеріалів, отриманих за допомогою скануючого електронного мікроскопу SEO-SEM Inspect S50-B. Здобувачі повинні були оцінити такі показники наноструктур: діаметр (за шириною та довжиною кристалітів та округлість (за допомогою величин Solidity та Round)

Оцінювання показників наноструктур відбувалося суто візуально, студенти повинні були розглядати знімки та фіксувати значення досліджуваних характеристик. Студенти повинні були оцінити за цими показниками 10 кристалітів на поверхні та внести дані в таблиці. Це завдання заняло в середньому 1 годину 20 хвилин. Спостерігалася висока варіабельність у оцінці визначених величин. Інколи отримані значення відрізнялися на більш ніж 50%.

Наступним кроком було визначення морфологічних показників наноструктур за допомогою програмного продукту ImageJ. Для цього заздалегідь було підготовлено методичні матеріали з використання програми та інструкцію проведення оцінювання.

На основі отриманих теоретичних знань студенти проводили оцінювання морфологічних показників наноструктур, будували таблиці, графіки та діаграми. Було проаналізовано ті ж самі наноструктури, які було аналізовано раніше візуальним оцінюванням.

Далі студентам було запропоновано порівняти одержані результати та зробити висновки. Наприкінці заняття було проведено опитування студентів.

Звісно, що ми даний підхід не може претендувати на повноцінний педагогічний експеримент, що обумовлено невеликою вибіркою. Однак проведене дослідження дає можливість оцінити наявні беззаперечні переваги використання спеціалізованих програмних продуктів для оцінювання морфологічних показників наноструктур.

Зображення наноструктур, отриманні за допомогою мікроскопії, дозволяють оцінити тип наноструктури [1], наявність додаткових фаз [2], розміри та форму нанокристалітів [3], рівномірність розподілу їх по поверхні [4] тощо.

Однак дуже часто такий аналіз має суто описовий характер, тоді як вимогою часу є комплексні дослідження, спрямовані на отримання великого масиву даних для порівняння, верифікації, статистичної обробки результатів досліджень. Це зумовлюється, насамперед, потребою у прогнозуванні властивостей наноструктур під час їх синтезу та формування наноматеріалів із заздалегідь визначеними показниками [5].

Реалізація високоякісного аналізу пов'язана з відомими труднощами, які зумовлені:

– суб'єктивністю спостережень;

– невеликою швидкістю процесу дослідження;

– складністю проведення досліджень;

– необхідністю застосування статистичних методів;

– необхідності застосування високовартісного обладнання тощо.

Тому простого аналізу фотографії нанооб’єктів, зробленої за допомогою мікроскопів, часто недостатньо. Так як невеликі зміни при аналізі і обробці зображень мають великий вплив на подальшу долю готового виробу, методи неруйнівного і швидкого контролю, які визначають і аналізують дані зміни, можуть бути успішно використані як інструмент контролю якості наноструктур.

Оцінка властивостей мікроструктури матеріалів має подвійну мету – з одного боку, це оцінка адекватності процесу управління структурою, з іншого боку, це забезпечення оптимальної якості готового виробу [6].

Суто візуальний аналіз досліджуваних зразків не дає повної і точної інформації щодо розміру нанооб’єктів та їхньої щільності. На сьогодні існує велика кількість методик вимірювання розмірів нанооб’єктів. Однак, більшість з

них заснована на вимірюванні розміру кожного об'єкту окремо. Такий підхід є трудомістким і потребує багато часу. За цих умов майже неможливо дослідити розподіл часток або пор за розмірами, встановити статистичні закономірності тощо. Крім того, результати такої роботи в більшості випадків залежать від суб'єктивної оцінки дослідника і внаслідок цього можуть містити велику кількість помилок і значних похибок. Вони можуть різнитися у різних дослідників і мати погану відтворюваність.

У зв'язку з цим виробники мікроскопів розробляють спеціальні програми для дослідження мікроскопічних зображень in situ. Однак, ці програми вартісні, застосовані до конкретної марки мікроскопів і часто виявляються складними у користуванні. Такі програми працюють переважно з електронним зображенням зразка, який знаходиться у мікроскопі в даний проміжок часу. На практиці дуже часто необхідним є проведення аналізу зображення без наявності самого зразка (з плином часу чи з будь-якої іншої причини). Тому доречним є вибір програми, яка дозволяє працювати з мікрофотографіями об'єктів, отриманих за допомогою різних типів мікроскопів.

З урахуванням цього набувають поширення програми, які можуть працювати саме із зображенням, а не із зразком у реальному часі, тобто in vitro.

В арсеналі даних програм є всі необхідні для обробки мікроскопічних зображень алгоритми [7]:

– високочастотного і низькочастотного фільтрування;

– виділення меж зображень;

– арифметичних і логічних операцій;

– корекції яскравість/контраст та ін.

Обробка зображення в даному випадку спрямована не на поліпшення візуального сприйняття, а на його підготовку до подальшого аналізу. У всіх прикладних програмах даної специфіки запропонована певна послідовність алгоритмів для обробки та отримання характеристик досліджуваного зразка структури.

Не дивлячись на досягнутий рівень у аналізі мікроскопічних зображень, залишається ряд проблем. Ці проблеми можуть бути пов'язані з недостатньою якістю зображення, межею роздільної здатності мікроскопу, недосконалості методик подальшої обробки даних тощо.

Для експерименту використовуали пластини монокристалічного арсеніду галію [8], вирощеного методом Чохральського з-під шару борного ангідриду з кутами розрощування кристалу від затравки до заданого діаметру при температурі 35°–90°С. Параметри вихідного кристалу наведено у таблиці 3.10

Таблиця 3.10 – Характеристики зразків GaAs, використаних для експерименту

Тип провідності	n
Орієнтація поверхні	(111)
Легуюча домішка	Sb
Концентрація неосновних носіїв, $см^{-3}$	$3x10^{19}$
Сингонія	кубічна
Тип структури	сфалерит
Постійна гратки, нм	0,5653
Атомна щільність, $см^{-3}$	$4,43x10^{22}$
Структура енергетичних зон	прямозоний
Ширина забороненої зони, еВ (Т=300 К)	1,43
Характер зв'язку	Йонно-ковалетна

Зразки розміром 1х2х0,2 см вирізали за допомогою струнної різки з алмазним напиленням. Така різка призводить до механічного ушкодження поверхні зразків, що характеризується появою шороховатостей та сколів. Це може бути причиною окислення поверхні. Для усунення цих явищ поверхню шліфували, полірували та очищували безпосередньо перед початком експерименту.

Зразки шліфували за допомогою водної суспензії мікропорошку марки М10, з якого було виготовлено водну суспензію.

Механічне полірування проводили за допомогою алмазної пасти АСМ 3/2. Для хімічного полірування використовували водний розчин суміші соляної та перхлоратної кислот ($HCl:HClO_4$ = 1:1). Зразки проходили хімічну обробку протягом 5 хв.

Для очищення та знежирення поверхні пластин їх промивали в ізопропіловому спирті, ацетоні та деіонізованій воді. Відразу після цього без контакту з повітрям поміщали в розчин електроліту. Така ретельна очистка

напівпровідникових пластин необхідна для виключення впливу стану поверхні на хід експерименту.

Експеримент проводили у стандартній електролітичній комірці (рис. 3.14). Анод та катод кріпляться паралельно один одному та перпендикулярно дону комірки на відстані 1 см. Комірка, виконана із тефлона, заповнюється розчином електроліту. Комірку було обладнано мішалкою для забезпечення перемішування електроліту під час електрохімічної обробки кристалів, видалення бульбашок з поверхні електродів та відтоку продуктів реакції. Режим перемішування електроліту було застосовано тільки на перших етапах. Для ефективного проведення електрохімічного оксидування поверхні зразків режим перемішування вимикали. У якості катоду використовували пластину платини, на аноді – напівпровідниковий зразок. Також застосовували хлор-аргентумний електрод порівняння. Для спостереженням за змінами значень сили струму під час електрохімічної обробки використовували потенціостат MTech SPG-500S.

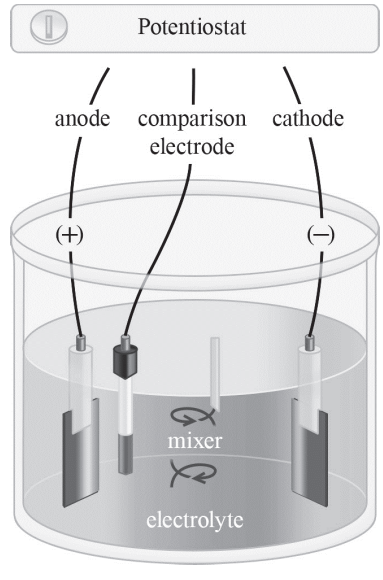

Рисунок 3.14 – Схема електролітичної комірки для оксидування n-GaAs

Метод електрохімічного травлення характеризується утворенням адатомів, які складаються з іонів електроліту та атомів поверхні зразка, що мають обірвані зв’язки. За рахунок прикладення зовнішнього потенціалу відбувається виривання

цих адатомів з поверхні напівпровідника, що спричиняє утворення ямок травлення та формування поруватої текстури.

Протилежним цьому методу є метод електрохімічного осадження (у нашому випадку оксидування), який характеризується нанесенням продуктів реакції (осаду) на поверхню електрода за рахунок пропускання струму через розчин електроліту, який насичений продуктами реакції. Таким чином, ці два електрохімічні процеси (травлення та осадження) можуть протікати одночасно або циклічно, природно змінюючи один одного. При цьому важливим є вибір режимів обробки, від яких буде принципово залежати кінцевий результат електрохімічної реакції.

Електрохімічну обробку зразків n-GaAs проводили у розчині електроліту $HCl:H_2O:C_2H_5OH=1:4:2$. Початкова напруга анодування $U_0=1V$. Через кожну хвилину напругу анодування підвищували на 1V до досягнення значення $U_{end}=10V$.

Далі систему знеструмлювали, зразки витримували у цьому ж розчині електроліту ще протягом 1 хв. Після цього експеримент завершували. Всі експерименти проводили при денному світлі при кімнатній температурі (20^oC).

Морфологію наноструктур досліджували за допомогою скануючого електронного мікроскопа SEO-SEM Inspect S50-B.

Підготовка зображень та аналіз проводили за допомогою програм ImageJ та Origin.

Завданнями аналізу мікрофотографій поверхні наноструктур у загальному випадку є [9, 10]:

– статистична обробка отриманих у процесі вимірювання характеристик об'єктів;

– визначення середніх значень отриманих величин;

– побудова графічних залежностей для візуалізації процесу аналізу.

Для проведення якісного аналізу мікроморфології наноструктур необхідним є виділення основних етапів (рис. 3.15). Перш за все, вирішальним моментом є наявність якісного зображення, отриманого за допомогою мікроскопу. Тут важливими моментами є вибір ділянки для аналізу та оптимального збільшення. При недостатньому збільшенні занадто дрібні елементи поверхні важко буде ідентифікувати. При надмірно високому збільшені будемо втрачати якість

зображення. Тому перший етап буде складатися з двох ключових кроків: вибір ділянки зразка для аналізу та вибір оптимальної величини збільшення.

Фотографії, отримані за допомогою мікроскопу, як правило, мають недостатню контрастність. Тому далі необхідно провести підготовку отриманого зображення для аналізу. Для цього, зображення необхідно відкрити в програмі *ImageJ* та провести калібрування. Для підвищення контрастності границь пор доцільно використати *Bandpass* фільтр, який використовує перетворення *Фур'є*. Це дозволить видалити як високі, так і низькі просторові частоти у зображенні.

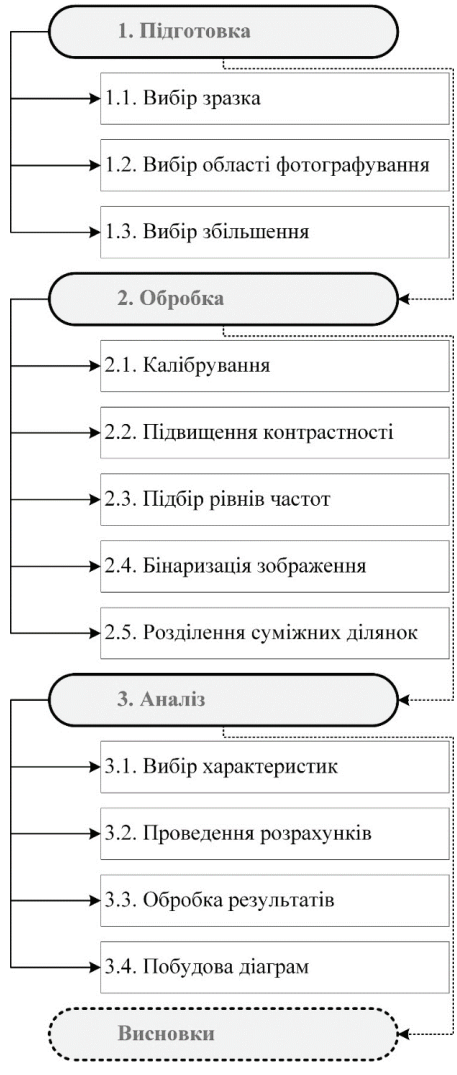

Рисунок 3.15 – Загальна схема аналізу морфології наноструктур

При цьому необхідно експериментально підібрати рівні частот, що відсікаються. Таким чином забезпечується найбільш контрастне зображення. Для розділення суміжних кристалітів і пор з нечіткими границями доцільно використати *Watershed*-алгоритм. Перед обробкою зображення по даному алгоритму фотографія попередньо піддається бінаризації для переходу від відтінків сірого до двокольорового зображення.

Далі проводиться аналіз морфології зразка. Для цього необхідно вибрати досліджувані характеристики. Програма ImageJ автоматично здійснює розрахунки. Крім того, за допомогою програми ImageJ можна провести підрахунок (Count) аналізованих частинок, їх периметр (Perimeter), середній розмір (Average size) і щільність (Solidity), яка характеризує відношення площі виділеної області до всієї площі, розподіл частинок за розміром тощо.

Програма вираховує кількість кристалітів чи пор на вибраній ділянці, при цьому пори, які знаходяться на межі зображення доцільно рахувати за таким правилом: рахуються пори лише по двом суміжним сторонам прямокутника, на двох інших сторонах пори до уваги не беруться. За отриманими даними будуються діаграми та робляться висновки.

На рис. 3.16 наведено морфологію поверхні арсеніду галію після електрохімічної обробки, яка була надана здобувачам вищої освіти для оцінювання. На рисунку можна бачити масив кристалітів - острівців, які сформувалися під час електрохімічного оксидування GaAs. Острівки представляють собою сфероподібні утворення, розділені канавками. Детальне спостереження дозволяє зробити висновок, що канавки утворилися на пізніх стадіях травлення в результаті розтріскування плівки окислу.

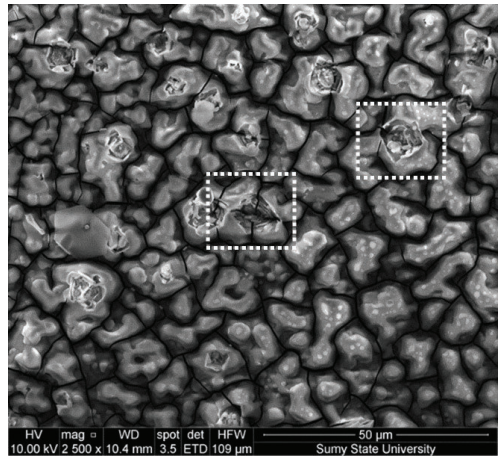

Рисунок 3.16 – Морфологія поверхні GaAs з утвореним оксидним шаром після електрохімічної обробки

Також можна бачити, що шароподібні кристаліти мають протравлені ділянки в центрі. Тобто розчинення оксидної плівки відбувалося за механізмом пробою, як це було описано вище.

Треба зауважити, що перемішування електроліту, яке було застосовано на першому етапі електрохімічної обробки, призводить до формування щільної плівки з утворенням сфероїдальної структури. При перемішуванні електроліту відтік продуктів реакції з поверхні зразка швидший, ніж при відсутності перемішування. Це дозволяє «згладжувати» поверхню та формувати рівномірні оксидні шари з невеликими виступами (псевдосфери). При підвищенні прикладеного потенціалу та припиненні перемішування, аніони електроліту концентруються біля поверхні кристалу, утворюючи перехідний шар Гельмгольца-Гуї на межі розділу напівпровідник/електроліт. Це спричиняє повторне розтравлювання поверхні в місцях неоднорідностей, виступів та дефектів. Враховуючи, що поверхня GaAs після оксидування представляла собою набір сферичних кристалітів, логічно припустити, що виступами будуть найвищі точки сфер. Вони мають більшу енергію в наслідок концентрації мікронапружень біля поверхні. Модель цього процесу наведено на рис. 3.16. Саме на цих ділянках відбувається пробій оксидної плівки і спостерігається утворення ямки травлення (на рисунку 3.15 – виділені жовтим ділянки, на рис. 3.16 – червоні області).

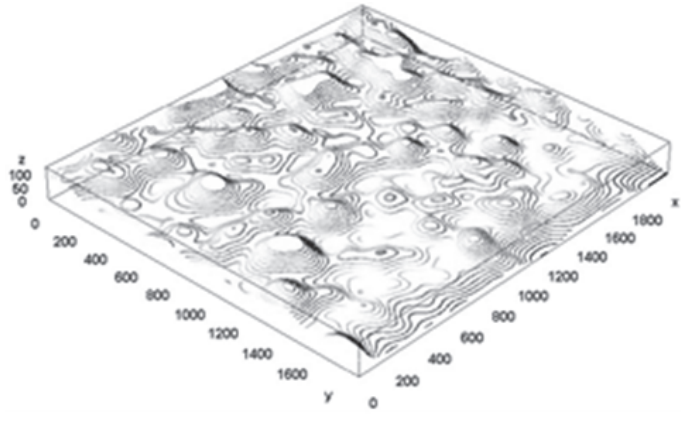

Рисунок 3.16 – Модель розтравлювання сфероподібних оксидних кристалітів на поверхні GaAs. Червоні ділянки показують місця концентрації мікронапружень, які ініціюють пробій оксидної плівки

Ця модель була згенерована за допомогою ImageJ, а саме у режимі як "3D реконструкція" або "3D візуалізація", де двовимірне зображення наноструктур може бути перетворене в тривимірне зображення з об'ємними ефектами, такими як бугри та впадини.

Для обробки зображень, отриманих за допомогою скануючого електронного мікроскопа (SEM), у програмі ImageJ та їх перетворення в об'ємні зображення з буграми та впадинами, а також кольоризації у теплових градієнтах, слід використовувати наступні кроки:

1. **Імпорт SEM Зображення**: спочатку потрібно імпортувати SEM зображення в ImageJ. Зображення SEM зазвичай мають високий контраст, який демонструє топографію поверхні зразка.
2. **Перетворення у 3D**: для створення тривимірної моделі з двовимірного зображення, можна використовувати спеціалізовані плагіни або інструменти в ImageJ. Це робиться шляхом інтерпретації різних рівнів яскравості або контрасту на зображенні як різних висот або глибин.
3. **Кольоризація та Теплові Градієнти**: для покращення візуального сприйняття тривимірності, зображення можна пофарбувати в різні кольори або теплові градієнти. Таке використання теплових градієнтів ефективно для підкреслення відмінностей у висоті або глибині структур на зображенні.

Ці методи в ImageJ можуть потребувати додаткових плагінів або скриптів для розширення стандартних можливостей програми. Вони є важливим інструментом в таких галузях, як матеріалознавство, нанотехнології та біологічні дослідження, де точна візуалізація наноструктур є необхідною.

На рис. 3.18 наведено діаграми розподілу кристалітів за розмірами (було оцінено довжину та ширину кожного острівка) за допомогою ImageJ. Можемо бачити, що розподіл має нормальний характер. Більшість кристалітів мають розмір від 1 до 5 мкм. Частка надмасивних кристалітів (які хоча б в одному напрямку мають розмір більш ніж 9 мкм) не перевершує 0,1%.

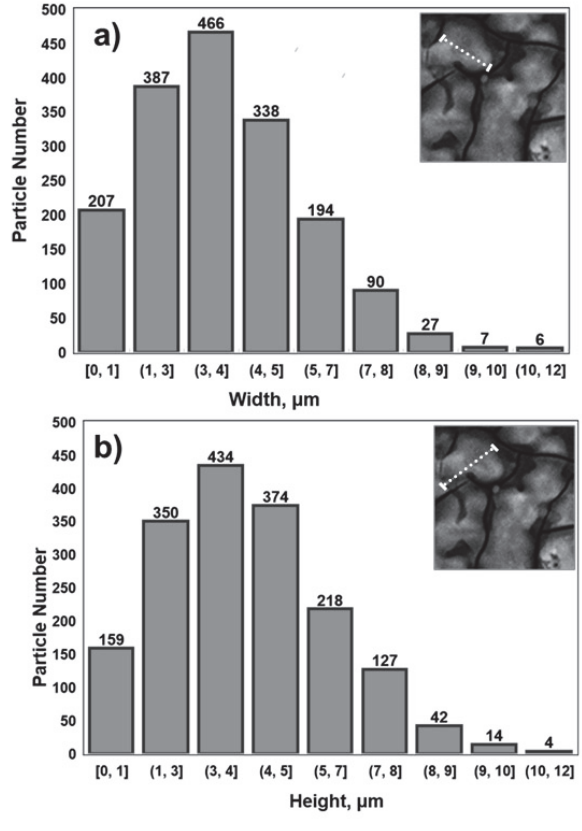

Рисунок 3.18 – Розподіл кристалітів за шириною (a) та довжиною (b)

Форму кристалітів охарактеризуємо за допомогою величин Solidity та Round. Solidity характеризує відношення площі кристаліту до площі convex hull:

$$S=Ar/Ar_c, \tag{3.3}$$

де Ar – загальна площа кристаліта, Ar_c – площа convex hull кристаліту.

Round визначається як відношення площі до квадрату більшої вісі:

$$R = \frac{4Ar}{\pi l_{max}^2}, \tag{3.4}$$

де l_{max} – більша вісь пори.

Значення округлості R = 1 та S = 1 вказують на те, що переріз кристаліту є ідеальне коло. Чим ближче значення Round до 0, тим більш витягнутим буде переріз, так само при S→0 межі кристаліту будуть деформовані.

Рис. 3.19 демонструє розподіл кристалітів за характеристиками Solidity (a) та Round (b).

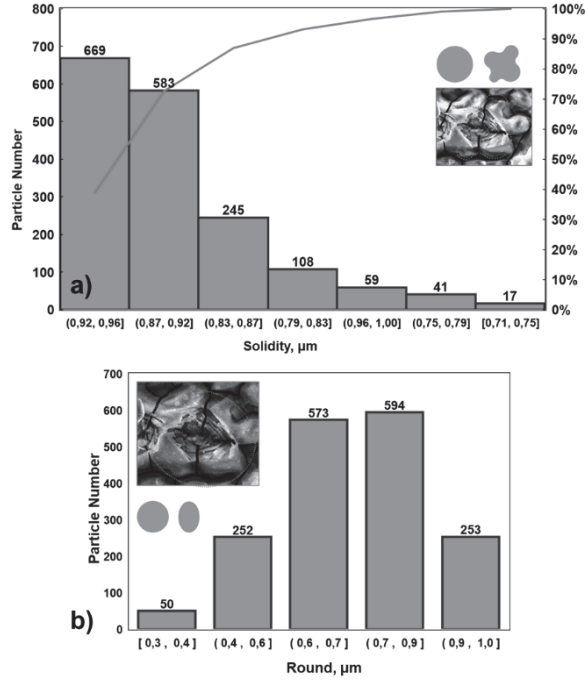

Рисунок 3.19 – Діаграми розподілу кристалітів за характеристиками Solidity (a) та Round (b)

Аналіз рис. 3.19 дозволяє зробити висновок, що кристаліти переважно мають еліпсоподібну форму, близьку до округлої . У діапазон значень Round (0,7 – 0,9] потрапляє 34% кристалітів поверхні. Майже ідеальну форму кола мають 17% частинок. Кристаліти переважно мають гладкі кордони. Так, розрахунок характеристики Solidity показав, що 76% кристалітів потрапляють у діапазон (0,87 – 1].

На рис. 3.20 наведено залежність між характеристиками Round та Solidity. Масив значень потрапляє у верхній правий кут. Це свідчить про те, що чим більш округлою є форма кристаліту, тим більш гладкі його межі. З іншого боку, середнє значення характеристики Solidity (S=0,89) перевищує середнє значення Round (R=0,70).

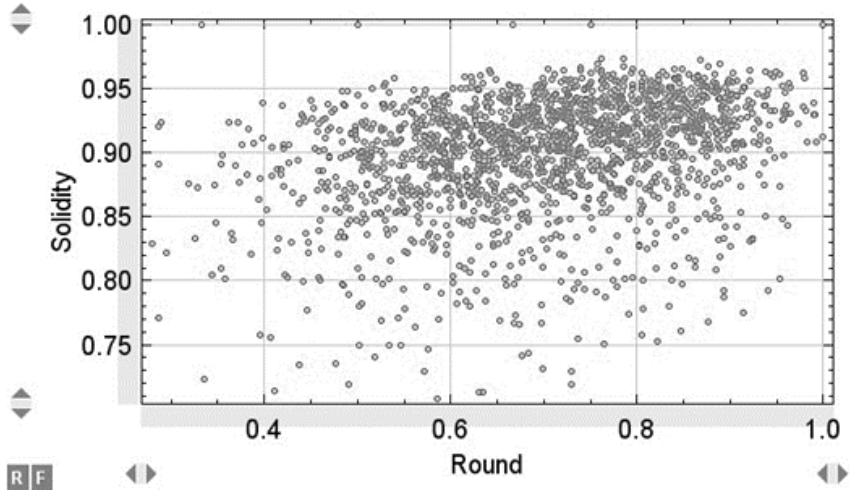

Рисунок 3.20 – Діаграма, що демонструє залежність між морфологічними характеристиками Round та Solidity оксидних кристалітів

Проведений детальний аналіз морфологічних характеристик цікавий з точки зору механізмів формування кристалітів. Еліпсоподібні кристаліти з гладкими межами свідчать про правильність зробленого раніше припущення про те, що на початкових етапах оксидування було сформовано щільну оксидну плівку, яка згодом «розповзлася» по поверхні GaAs. Часто причиною цього явища є невідповідність кристалічних граток оксиду та вихідного напівпровідника.

У таблиці 3.11 зведено дані щодо максимальних, мінімальних та середніх значень оцінюваних морфологічних характеристик, а саме ширина, довжина,

площа кристалітів, їх округлість (Round) та Solidity. Можна бачити значний розкид між максимальними та мінімальними значеннями лінійних розмірів кристалітів. Це характеризує процес утворення кристалітів як направлений, тобто повинні бути місця переважного розтріскування плівки, якими є поверхневі дефекти підкладки (GaAs), дислокацій та ступені росту оксидної плівки. Також на це вказує співставлення мінімального і максимального значення округлості. Тут ми теж бачимо значний розкид з $\Delta R = 0,72$. Значення площі кристалітів демонструє лівосторонню асиметрію (середнє значення ближче до мінімуму). Це свідчить про те, що процес розриву плівки на етапі припинення електрохімічної реакції ще не був завершений. При подальшому травлені зразка ми спостерігали би утворення ще більшої кількості дрібних кристалітів.

Таблиця 3.11 – Максимальні, мінімальні та середні значення морфологічних характеристик оксидних кристалітів на поверхні n-GaAs

Морфологічні характеристики	Max	Min	Average
Height, μm	11,63	0,11	3,88
Width, μm	12,9	0,12	3,46
Area, μm^2	3,59	1	1,49
Solidity	1	0,70	0,89
Round	1	0,28	0,70

Тобто оксидування поверхні GaAs відбувається за Stranski-Krastanov mechanism або layer-plus-island growth (рис. 3.21) [11]. За цим механізмом спочатку на поверхні GaAs формується оксидна плівка, так званий wetting layer. Через неузгодження постійних граток оксидного шару та напівпровідникової підкладки в wetting layer виникають напруження. Далі відбувається деформація wetting layer таким чином, щоб постійна його гратки відповідала постійній гратці GaAs. Локальна кривизна деформованих ділянок призводить, до розтріскування плівки і утворення острівків – кристалітів оксиду. Подальше витравлювання ямок травлення на верхівках острівців не пов’язано з Stranski-Krastanov mechanism, а зумовлено пробоєм оксиду внаслідок прикладення дуже великого потенціалу та значного часу електрохімічної реакції.

Таким чином, застосування ImageJ при навчанні майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства дозволяє глибше зрозуміти структуру та властивості наноматеріалів через візуалізацію. Використання ImageJ для 3D реконструкції та аналізу SEM зображень надає студентам унікальну можливість візуально оцінити мікро- та наноструктури, що є ключовими для визначення функціональних властивостей матеріалів.

Це також сприяє розвитку навичок критичного мислення та аналітичного підходу, оскільки студенти навчаються інтерпретувати комплексні дані зображень та знаходити зв'язок між мікроструктурою матеріалів і їхніми властивостями. Крім того, практичний досвід роботи з програмним забезпеченням, як ImageJ, готує студентів до використання передових технологій у їхній подальшій професійній діяльності, що є надзвичайно важливим в сучасному світі науки та техніки.

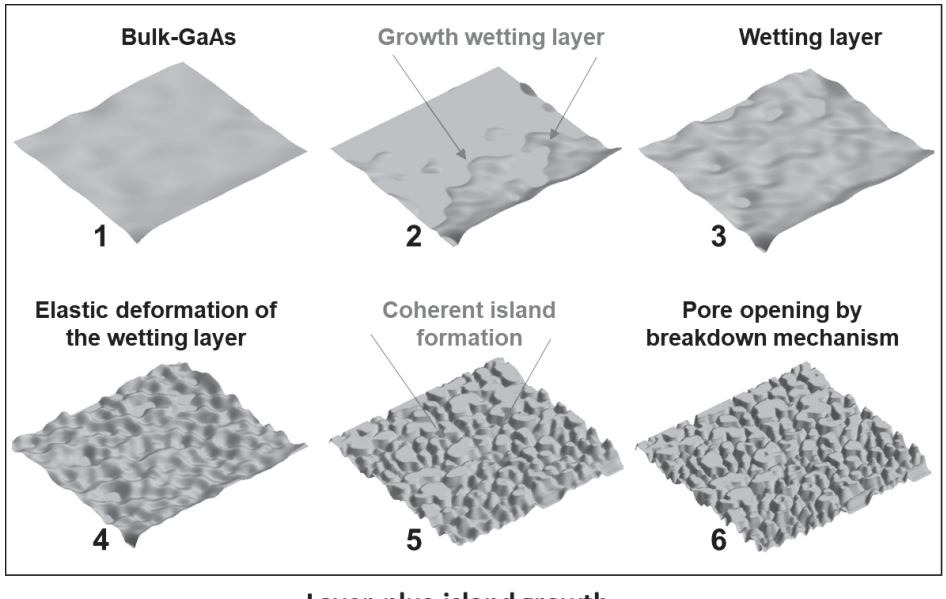

Рисунок 3.21 – Механізм електрохімічного оксидування поверхні GaAs

На основі розумової операції «аналіз», що позначає розкладання цілого складного об’єкта чи явища на його складові, більш прості елементарні частини і виділення окремих сторін, властивостей, зв’язків, можна організувати репродуктивну навчальну діяльність. Ця навчально-пізнавальна діяльність студентів має бути спрямована на виявлення внутрішніх тенденцій і можливостей

утворення певних наноструктур на поверхні певних напівпровідників із заданими властивостями в результаті застосування тієї чи іншої технології синтезу, через поєднання, відтворення зв'язків окремих елементів, сторін, компонентів складного явища і тим самим у осяганні цілого в єдності його компонентів.

Продуктивну навчальну діяльність необхідно будувати на основі синтетичного прийму мислення, який передбачає з'єднання компонентів складного явища, оскільки результатом синтезу старих знань є абсолютно нове знання.

Проте, «аналіз» і «синтез» є діалектичними прийомами мислення, оскільки без попереднього аналізу вже існуючого наноматеріалу та технології його створення неможливо здійснити синтез нового наноматеріалу. Тому продуктивна навчальна діяльність студентів, спрямована на отримання продуктивного поняття з фахової дисципліни, буде передбачати поетапне виконання спочатку репродуктивної діяльності, а потім – продуктивної.

Таким чином, представлена методика аналізу наноструктурованих поверхонь за допомогою комп'ютерних програм обробки мікроскопічних зображень дозволяє ідентифікувати тип наноструктури, характер розподілу нанокристалітів/пор за площею, ефективним діаметром, периметром та формою.

Для підвищення конкурентоспроможності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства необхідно забезпечити цілеспрямоване формування в них когнітивних професійно важливих якостей особистості під час фундаменталізованої підготовки у закладах вищої освіти. Така підготовка повинна моделювати реальну професійну діяльність нанотехнолога із синтезу наноматеріалів під час якої студенти самостійно оволодіватимуть знаннями про нові технології синтезу; в результаті аналізу існуючих зразків з аналогічними характеристиками на основі фундаментальних філософсько-природничо-математичних законів, теорій і категорій встановлюватимуть закономірності між властивостями базового матеріалу, утворюваних наноструктур на його поверхні та технологічними і рецептурними чинниками технології їх синтезу; прогнозуватимуть характеристики нових наноматеріалів, а також визначати галузі їх застосування.

Література

1. Vambol, S.O., Bogdanov, I.T., Vambol, V.V., Suchikova, Ya.O., Kovachov, S.S. Correlation between technological factors of synthesis of por-gap and its acquired properties. Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii, 2018, 16(4), p. 657–670.
2. Oxide crystals on the surface of porous indium phosphide. Suchikova, Y.O., Bogdanov, I.T., Kovachov, S.S. Archives of Materials Science and Engineering, 2019, 98(2), p. 49–56
3. 3.Yana, S. Porous indium phosphide: Preparation and properties. Handbook of Nanoelectrochemistry: Electrochemical Synthesis Methods, Properties, and Characterization Techniques, 2016, p. 283–306
4. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I. et al. Study of the structural and morphological characteristics of the CdxTeyOz nanocomposite obtained on the surface of the CdS/ZnO heterostructure by the SILAR method. Appl. Phys. A 129, 499 (2023). https://doi.org/10.1007/s00339-023-06776-x
5. Suchikova, Y., Kovachov, S., Lazarenko, A., Lopatina, H., Tsybuliak, N., Hurenko, O., & Bohdanov, I. (2023). Surface Modification of Gallium Arsenide by Electrochemical Methods in Different Electrolyte Compositions. Chemistry & Chemical Technology, 17(2), 262–271. https://doi.org/10.23939/chcht17.02.262
6. Suchikova, Y. O., Kovachov, S. S., Shishkin, G. O., Pimenov, D. O., Lazarenko, A. S., Bondarenko, V. V., & Bogdanov, I. T. (2021). Functional model for the synthesis of nanostructures of the given quality level. Archives of Materials Science and Engineering, 2(107), 72–84. https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.0244
7. Suchikova, Y., Bogdanov, I., Kovachov, S., Tsybuliak, N., Panova, N. Research of the Structure of Nanomaterials by Analysis of Micromorphology Images. (2020). Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii, 18(4). https://doi.org/10.15407/nnn.18.04.875
8. Suchikova, Y. O., Kovachov, S. S., Lazarenko, A. S., Bardus, I. O., Tikhovod, K., Hurenko, O. I., & Bohdanov, I. T. (2022). Oxidation of the n-GaAs Surface: Morphological and Kinetic Analysis. Journal of Nano- and Electronic Physics, 14(3), 03033–1–03033–7. https://doi.org/10.21272/jnep.14(3).03033
9. Henriques, Ricardo, et al. QuickPALM: 3D real-time photoactivation nanoscopy image processing in ImageJ. Nature methods 7.5 (2010): 339-340.
10. Abràmoff, Michael D., Paulo J. Magalhães, and Sunanda J. Ram. Image processing with ImageJ. Biophotonics international 11.7 (2004): 36-42.
11. Formation of β-SiC on por-Si/mono-Si surface according to stranski - krastanow mechanism / Y. O. Suchikova та ін. Himia, Fizika ta Tehnologia Poverhni. 2022. Т. 13, № 4. С. 447–454. URL: https://doi.org/10.15407/hftp13.04.447

3.6. Застосування інноваційних цифрових технологій при підготовці майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства до продуктивної професійної діяльності

Сьогодні ми спостерігаємо інтенсивний розвиток технологій синтезу нових наноматеріалів завдяки широкому їхньому застосуванню в різних галузях, таких як електроніка [1, 2], медицина [3, 4], енергетика [5, 6] та матеріалознавство [7 ,8]. На основі новітніх наноматеріалів створюються сонячні панелі [9], лазери [10], електронні девайси [11], косметика [12] та текстиль [13]. Знаходять вони своє застосування у автомобільній та агропромисловій галузі [14, 15]. Також сучасні технології подвійного і воєнного призначення застосовують досягнення нанотехнологічної науки, зокрема при створенні тепловізорів, портативних сонячних батерей, дозиметрів, дронів тощо [16, 17].

Розвиток і успішне впровадження нанотехнологій залежить не тільки від наукового прогресу, а й від кваліфікації фахівців у цій галузі [18]. Підготовка фахівців в галузі наноматеріалознавства до продуктивної професійної діяльності є найважливішим завданням для забезпечення сталого розвитку суспільства [19].

Маємо протиріччя між стрімко розвиваючимися наукоємними технологіями та нестачею фахівців, що можуть створювати наноматеріали для приладів сучасної електроніки. Україна відчуває цю потребу ще більше, адже маємо запит на розвиток критичних технологій та технологій подвійного призначення вже сьогодні. З іншого боку, маємо констатувати, що ми опинилися у ситуації нестачі фахівців, здатних готувати майбутніх наноінженерів до продуктивної діяльності та відсутності відповідних методик їхньої підготовки [20]. Попит на відповідні спеціальності теж вкрай низький.

Ситуація ускладняється ще тим, що маємо значні втрати матеріально-технічної бази університетів через руйнування, знищення та окупацію [21, 22]. Підготовка таких фахівців переходить в онлайн та асинхронний формат. У світі теж наявна ця проблема через досі триваючу пандемію COVID.

Війна, з одного боку, вимагає негайної розробки нових воєнних технологій, з іншого боку - гальмує або зовсім унеможливлює освітній процес [23]. Руйнування, знищення наукової та освітньої інфраструктури, внутрішнє та зовнішнє переміщення викладачів і студентів, окуповані міста та релокація з них університетів, відсутність електрики та інтернету - це ті виклики, які постають

перед українською системою освіти [24]. Сьогодні вже є дослідження, присвячені впливу війни на наукову та викладацьку ефективність українських викладачів [25]. Однак поки немає жодного дослідження щодо розробки систем, механізмів, технологій забезпечення якості підготовки фахівців до продуктивної діяльності в сучасних умовах. Тим більше, зовсім не досліджено питання підготовки фахівців в галузі наноматеріалознавства в умовах дистанційного, змішаного навчання із застосуванням технологій синхронного та асинхронного навчання.

Взагалі, асинхронне навчання – це сучасний та ефективний метод навчання, який дозволяє студентам навчатися у своєму власному темпі, без обмежень, що наявні традиційному університетському підходу [26]. Із зростанням популярності дистанційного навчання та зростаючою потребою у висококваліфікованих спеціалістах у сфері нанотехнологій використання асинхронного навчання набуває все більшого поширення [27].

Проте впровадження асинхронного навчання в підготовку фахівців в галузі наноматеріалознавства вимагає глибокого розуміння його переваг і обмежень, а також розробки ефективних засобів і методів [28].

В останні роки зростає інтерес до використання асинхронного навчання як засобу підготовки наноінженерів до професійної діяльності [29]. Асинхронне навчання відноситься до навчальних методів, які дозволяють здобувачам отримувати доступ до матеріалів курсу та працювати з вмістом курсу у власному темпі, поза традиційною аудиторною роботою та синхронним онлайн-середовищем. У сфері наноінженерії цей підхід до навчання може запропонувати низку переваг перед традиційними підходами.

Окреслені проблеми дають чітке розуміння необхідності створення системи дистанційної профілізованої підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до розробки нових наноматеріалів. Такі розробки і дослідження мають вкрай важливе значення для збереження наукового потенціалу та фахівців у галузі наноматеріалознавства України, що дозволить забезпечити конкурентоздатність вітчизняних розробок у галузі критичних технологій та технологій подвійного призначення та створять передумови для забезпечення безпеки цивільного населення і суверенних кордонів України. Також розробка технологій дистанційного та змішаного навчання на основі застосувань сучасного профільного програмного забезпечення мають вкрай важливе значення, адже досвід пандемії COVID свідчить про те, що традиційні

моделі організації навчального та наукового процесу неефективні та незастосовні у нових реаліях [30]. Світ потребує гнучких та адаптивних інструментів і відповідних технологій.

Деякі з ключових способів використання нових технологій та інновацій в асинхронній освіті представлені у таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Технології, що можуть бути застосовані при асинхронному навчанні майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства

Онлайн-навчання [31]	онлайн-платформи навчання, такі як масові відкриті онлайн-курси (MOOC), можуть надати студентам доступ до широкого спектру освітніх ресурсів, включаючи онлайн-лекції, симуляції та інтерактивні засоби навчання
Віртуальна та доповнена реальність [32]	Технології віртуальної та доповненої реальності можна використовувати для створення ефекту занурення в навчання, який допоможе здобувачам краще зрозуміти складні концепції та вдосконалити свої практичні навички
Штучний інтелект і машинне навчання [33]	технології штучного інтелекту та машинного навчання можна використовувати для персоналізації навчального досвіду для студентів і надання їм індивідуального відгуку та підтримки
Технологія Blockchain [34]	технологію Blockchain можна використовувати для створення безпечних і прозорих записів про успішність і кваліфікацію студентів, що полегшує демонстрацію своїх навичок і кваліфікацій потенційним роботодавцям
Інтернет речей (IoT) [35]	Інтернет речей можна використовувати для створення підключених навчальних середовищ, які дозволяють майбутнім фахівцям отримувати доступ до освітніх ресурсів з будь-якого місця та в будь-який час

Таким чином, потенційна роль нових технологій та інновацій в освіті є значною та має потенціал революціонізувати спосіб підготовки майбутніх спеціалістів у галузі наноматеріалознавства. Використовуючи ці технології, вищі навчальні заклади можуть надати студентам доступ до новітніх інструментів і ресурсів, допомогти їм розвинути свої навички та знання та підготувати їх до вимог сучасного виробничого середовища.

Розглянемо ці технології більш детально.

Онлайн навчання

Онлайн навчання є перспективним підходом для підготовки фахівців у сфері нанотехнологій. Технології онлайн-навчання стосуються різноманітних цифрових інструментів і платформ, які використовуються для надання освіти та навчання через Інтернет. Ці технології включають:

- системи управління навчанням (LMS): ці платформи надають студентам централізований доступ до матеріалів курсу, подання завдань, проходження тестів і спілкування з викладачами та студентським середовищем;
- відеоконференції: такі інструменти, як Zoom, Skype і Microsoft Teams, дозволяють синхронно взаємодіяти між студентами та викладачами в реальному часі;
- віртуальні класи: такі платформи, як Blackboard Collaborate і Webex, надають віртуальні класи, де студенти можуть брати участь у живих лекціях і дискусіях;
- інтерактивний вміст: такі інструменти, як Articulate, Adobe Captivate та H5P, дозволяють створювати інтерактивний вміст, наприклад тести, симуляції та ігри;
- мобільні навчальні програми: це мобільні програми, розроблені для надання освітнього контенту студентам на їхніх смартфонах або планшетах;
- соціальні навчальні мережі: такі платформи, як Edmodo та Schoology, надають соціальні мережі, де студенти та викладачі можуть співпрацювати та ділитися ресурсами;
- онлайн-бібліотеки та сховища: такі платформи, як JSTOR і ProQuest, надають доступ до онлайнових колекцій наукових журналів, книг та інших наукових ресурсів.

Використання цих технологій зробило революцію в галузі онлайн-навчання, зробивши освіту більш доступною, гнучкою та персоналізованою, ніж будь-коли раніше.

До ключових переваг онлайн-навчання спеціалістів у галузі нанотехнологій можна віднести:

- зручність: онлайн-навчання надає студентам гнучкість доступу до матеріалів курсу з будь-якого місця та в будь-який час, що полегшує їм поєднання навчання з роботою та іншими зобов'язаннями;
- економічна ефективність: онлайн-навчання часто є більш рентабельним, ніж традиційне особисте навчання, оскільки студенти можуть отримати доступ до навчальних матеріалів і ресурсів зі свого комп'ютера чи мобільного пристрою;
- доступ до ширшого спектру ресурсів: онлайн-навчання надає студентам доступ до ширшого спектру ресурсів, включаючи онлайн-лекції, симуляції та інтерактивні засоби навчання, які можуть допомогти покращити їхній досвід навчання;
- персоналізоване навчання: онлайн-навчання можна адаптувати відповідно до індивідуальних потреб і стилів навчання студентів, надаючи їм персоналізований освітній досвід;
- збільшення залученості: онлайн-навчання може допомогти збільшити залученість і взаємодію між студентами, оскільки вони можуть брати участь в онлайн-обговореннях і співпрацювати з іншими студентами та викладачами.

Не зважаючи на численні переваги, онлайн-навчання фахівців в галузі наноматеріалознавства також стикається з деякими проблемами. Деякі з ключових проблем включають:

- технічні проблеми: такі технічні проблеми, як погане підключення до інтернету або застарілі комп'ютерні системи, можуть спричинити збої та ускладнити студентам доступ до матеріалів курсу та ресурсів;
- обмежена взаємодія з викладачами: онлайн-навчання іноді може обмежити взаємодію між студентами та викладачами, зменшуючи можливості для студентів ставити запитання та отримувати відгуки;
- знижена мотивація: здобувачам вищої освіти може бути важко зберегти свою мотивацію та зосередженість у навчальному середовищі онлайн,

особливо якщо вони не мають такого ж рівня взаємодії та залученості, як при традиційній аудиторній моделі навчання;

- обмежений практичний досвід: онлайн-навчання також може обмежити можливості студентів для отримання практичного досвіду та розвитку практичних навичок, які є важливими для нанотехнологів.

Щоб вирішити ці проблеми, можна застосувати такі рішення:

- інвестиції в технології: щоб забезпечити безперебійне онлайн-навчання, важливо інвестувати в надійні та сучасні технології, такі як високошвидкісне підключення до інтернету, для забезпечення студентів ресурсами, необхідними для досягнення успіху;
- залучення та взаємодія: заклади вищої освіти можуть використовувати низку стратегій, таких як онлайн-дискусійні форуми та віртуальні групові проекти, щоб збільшити залучення та взаємодію між студентами та викладачами;
- розвиток практичних навичок: щоб допомогти студентам розвинути свої практичні навички, ЗВО можуть використовувати симуляції та інші інтерактивні інструменти або надавати можливості для отримання практичного досвіду через стажування чи практику;
- індивідуальна підтримка: щоб підтримати студентів і забезпечити їхній успіх, заклади можуть надати персоналізовану підтримку, таку як індивідуальне навчання та наставництво, щоб допомогти студентам подолати будь-які труднощі та досягти своїх цілей.

Підсумовуючи, онлайн-навчання спеціалістів у галузі нанотехнологій стикається з деякими труднощами, але їх можна подолати за допомогою впровадження ефективних рішень і зобов'язання забезпечити студентів ресурсами та підтримкою, які їм потрібні для досягнення успіху.

Технології віртуальної та доповненої реальності

Технології віртуальної та доповненої реальності (VR/AR) можуть революціонізувати підготовку нанотехнологів. Ці технології можуть надати

студентам захоплюючий практичний досвід, який допоможе їм краще зрозуміти складні концепції та розвинути практичні навички.
Деякі конкретні приклади та програми включають:

- віртуальні лабораторії: технології VR/AR можна використовувати для створення віртуальних лабораторій, де студенти можуть проводити експерименти та симуляції в безпечному та контрольованому середовищі. Наприклад, програма Virtual NanoLab надає студентам віртуальний доступ до ряду нанотехнологічних інструментів і інструментів, що дозволяє їм досліджувати та експериментувати з нанорозмірними матеріалами та структурами;
- підручники з доповненою реальністю: технології AR можна інтегрувати в підручники, щоб надати здобувачам більш цікавий та інтерактивний досвід підготовки. Наприклад, програма підручника AR Nanotechnology надає студентам інтерактивне моделювання та анімацію нанорозмірних матеріалів і процесів;
- віртуальні візити на сайт: технології VR/AR можна використовувати, щоб надати студентам віртуальні візити на реальні нанотехнологічні об'єкти, що дозволить їм отримати глибше розуміння застосування нанотехнологій і процесів, пов'язаних з їх розробкою;
- семінари з нанотехнологій. Технології VR/AR можна використовувати для проведення семінарів з нанотехнологій, де студенти можуть дізнатися про останні розробки та застосування нанотехнологій через захоплюючий та інтерактивний досвід.

Таким чином, технології VR/AR мають потенціал відігравати трансформаційну роль у навчанні нанотехнологів. Надаючи студентам захоплюючий практичний досвід, ці технології можуть допомогти подолати розрив між теоретичними знаннями та практичними навичками та забезпечити підготовку майбутніх нанотехнологів до продуктивної професійної діяльності.

Технології штучного інтелекту і машинного навчання

Технології штучного інтелекту (AI) і машинного навчання (ML) мають потенціал революціонізувати підготовку нанотехнологів. Ці технології можуть

надати студентам нові та інноваційні можливості навчання, які можуть допомогти покращити розуміння складних концепцій набути необхідних фахових компетентностей.

Деякі конкретні програми та рішення наведено нижче:

- Прогнозне моделювання: AI та ML можна використовувати для створення прогнозних моделей, які можуть допомогти нанотехнологам зрозуміти та передбачити поведінку нанорозмірних матеріалів і структур. Наприклад, моделювання на основі штучного інтелекту можна використовувати для моделювання механічних і оптичних властивостей наноматеріалів, що дозволяє студентам досліджувати та експериментувати з різними матеріалами та структурами.
- Аналіз даних. Технології AI та ML можна використовувати для аналізу великих обсягів даних, допомагаючи нанотехнологам ідентифікувати закономірності та робити прогнози щодо поведінки нанорозмірних матеріалів. Наприклад, алгоритми машинного навчання можна використовувати для аналізу даних експериментів з нанотехнологіями, надаючи студентам уявлення про властивості нанорозмірних матеріалів і процеси, пов’язані з їх розробкою.
- Персоналізоване навчання: AI та ML можна використовувати для надання персоналізованого навчального досвіду, адаптованого до потреб і здібностей окремих здобувачів. Наприклад, системи навчання на основі штучного інтелекту можна використовувати, щоб надати студентам індивідуальні відгуки та вказівки, допомагаючи їм краще зрозуміти складні концепції та вдосконалити свої практичні навички.
- Інтелектуальне оцінювання: штучний інтелект і машинне навчання можна використовувати для оцінювання навчання учнів і надання зворотного зв’язку щодо їх успішності в реальному часі. Наприклад, алгоритми машинного навчання можна використовувати для аналізу відповідей студентів на онлайн-оцінювання, надаючи викладачам уявлення про питання, в яких студентам потрібна додаткова підтримка.

Підсумовуючи, технології штучного інтелекту та машинного навчання можуть відігравати значну роль у підготовці фахівців в галузі наноматеріалознавства. Надаючи студентам новий та інноваційний досвід

навчання, ці технології можуть допомогти покращити розуміння складних концепцій, покращити їхні практичні навички та забезпечити підготовку майбутніх нанотехнологів до продуктивної професійної діяльності.

Кілька конкретних прикладів того, як технології AI та ML використовуються у підготовці фахівців в галузі наноматеріалознавства наведено у таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 - Технології AI та ML, які використовуються у підготовці фахівців в галузі наноматеріалознавства

Технологія	Опис	Приклад
Віртуальні лабораторії	AI та ML можна використовувати для створення віртуальних лабораторій, які імітують експерименти з нанотехнологіями в реальному світі	Моделювання на основі ШІ можна використовувати для моделювання поведінки нанорозмірних матеріалів і структур, дозволяючи студентам досліджувати та експериментувати з різними матеріалами та структурами у віртуальному середовищі
Інтелектуальні системи репетиторства	Системи репетиторства на основі штучного інтелекту можна використовувати для надання студентам персоналізованого зворотного зв'язку та вказівок	Алгоритми машинного навчання можна використовувати для аналізу відповідей учнів на онлайн-оцінювання та надання їм цільових відгуків і ресурсів, які допоможуть їм краще зрозуміти складні поняття
Програмне забезпечення для прогнозного моделювання	AI та ML можна використовувати для розробки програмного забезпечення для прогнозного моделювання, яке можна використовувати для моделювання та прогнозування поведінки нанорозмірних матеріалів і структур	Алгоритми машинного навчання можна використовувати для розробки прогностичних моделей, які можуть допомогти нанотехнологам зрозуміти та передбачити властивості різних нанорозмірних матеріалів і процеси, пов'язані з їх розробкою
Симуляції віртуальної реальності	Симуляції віртуальної реальності можна використовувати, щоб надати студентам захоплюючий досвід навчання, який допоможе їм зрозуміти складні концепції та розвинути практичні навички	Моделювання віртуальної реальності можна використовувати для моделювання поведінки нанорозмірних матеріалів і структур, дозволяючи студентам досліджувати та експериментувати з різними

		матеріалами та структурами у віртуальному середовищі
Обробка природної мови	Технології обробки природної мови (NLP) можна використовувати для аналізу та розуміння великих обсягів неструктурованих даних, таких як дослідницькі роботи та наукові статті, допомагаючи студентам бути в курсі останніх розробок у сфері нанотехнологій	Алгоритми НЛП можна використовувати для отримання інформації з наукових статей і надання студентам резюме та візуалізації ключових висновків і ідей

Технології блокчейн у навчанні нанотехнологів

Технологія блокчейн, як і технології засновані на використанні штучного інтелекту, теж має потенціал революціонізувати спосіб підготовки нанотехнологів. Забезпечуючи безпечне та прозоре управління даними та безпечну співпрацю і обмін знаннями, блокчейн може допомогти підвищити якість та ефективність освіти в галузі нанотехнологій. Крім того, блокчейн може допомогти підвищити прозорість і підзвітність навчальних закладів, дозволяючи студентам і професіоналам легко перевіряти свої облікові дані та кваліфікацію.

Деякі конкретні способи використання технології блокчейн у навчанні фахівців в галузі наноматеріалознавства наведено у таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 - Способи використання технології блокчейн при підготовці фахівців в галузі наноматеріалознавства

Технологія	Опис	Позитивний вплив
Цифрові облікові дані	Технологію блокчейн можна використовувати для створення безпечних і захищених від підробок цифрових облікових даних для студентів і професіоналів у сфері нанотехнологій	Це може включати сертифікати про завершені курси, ступені та професійні сертифікати
Децентралізоване зберігання даних	Blockchain можна використовувати для створення децентралізованих баз даних, які	Це може допомогти забезпечити безпеку та конфіденційність даних, а

	зберігають і керують освітніми даними, такими як записи студентів, результати досліджень і заходи професійного розвитку	також зробити їх більш доступними та прозорими
Безпечний обмін результатами досліджень	Блокчейн можна використовувати для безпечного обміну та керування результатами досліджень серед професіоналів у галузі нанотехнологій	Захищені та відкриті результати наукових експериментів, патенти та публікації
Співпраця та обмін знаннями	Платформи на основі блокчейну можна використовувати для створення децентралізованої мережі професіоналів у сфері нанотехнологій, що дозволяє їм співпрацювати та ділитися знаннями та досвідом один з одним	Це може допомогти полегшити міждисциплінарну співпрацю та обмін передовим досвідом
Платежі за освітні послуги на основі криптовалют	Криптовалюти на основі блокчейну можна використовувати для здійснення безпечних і прозорих платежів за освітні послуги, такі як плата за навчання та сертифікацію	Це може допомогти спростити процес оплати та зменшити ризик шахрайства

Оскільки використання технології блокчейн продовжує зростати та розвиватися, цілком ймовірно, що ми побачимо все більше програм та ініціатив, спрямованих на покращення підготовки нанотехнологів.

Інтернет речей

Інтернет речей (IoT) у вищій освіті означає інтеграцію технологій IoT в навчальний процес. Цю інтеграцію можна використовувати для:

- підвищення залучення студентів: пристрої з підтримкою Інтернету речей, такі як смарт-дошки, переносні пристрої та мобільні телефони, можуть забезпечити інтерактивне та персоналізоване навчання;
- покращення управління кампусом: датчики IoT можна використовувати для моніторингу споживання енергії, безпеки та обслуговування у вищих навчальних закладах;

- Сприяти дослідженням: технології Інтернету речей можна використовувати для досліджень у різних сферах, включаючи моніторинг навколишнього середовища, розумні міста та здоров'я;
- підвищення ефективності: пристрої та системи з підтримкою Інтернету речей можуть оптимізувати адміністративні завдання, такі як планування курсів і відстеження академічної активності студентів;
- підвищення безпеки: технології IoT можна використовувати для моніторингу безпеки кампусу в режимі реального часу, наприклад для відстеження місцезнаходження студентів і викладачів і реагування на надзвичайні ситуації, що особливо актуально для України в нових реаліях.

Деякі конкретні способи використання Інтернету речей (IoT) при підготовці фахівців в галузі наноматеріалознавства наведено у таблиці 3.15.

Таблиця 3.15 - Способи використання Інтернету речей (IoT) при підготовці фахівців в галузі наноматеріалознавства до продуктивної професійної діяльності

Технологія	Опис	Позитивний вплив
Розумні лабораторії	Пристрої IoT можна використовувати для створення розумних лабораторій, оснащених датчиками, системами моніторингу та системами керування, які можна використовувати для дистанційного моніторингу експериментів і процесів	Це може допомогти підвищити якість та ефективність досліджень і навчання в галузі нанотехнологій
Віддалений моніторинг і контроль	Пристрої IoT можна використовувати для віддаленого моніторингу та контролю різних аспектів процесу дослідження та навчання в області нанотехнологій, таких як умови навколишнього середовища, температура, тиск тощо	Це може допомогти підвищити безпеку та ефективність дослідницької та навчальної діяльності

Аналіз даних у режимі реального часу	Пристрої IoT можна використовувати для збору та передачі даних у режимі реального часу, що дозволяє нанотехнологам аналізувати та інтерпретувати дані під час їх створення	Це може допомогти підвищити точність і швидкість процесів дослідження та навчання
Симуляція та моделювання	Пристрої IoT можна використовувати для створення модельних середовищ та моделювання, які повторюють реальні нанотехнологічні процеси	Це може надати студентам і професіоналам цінний практичний досвід і допомогти їм підготуватися до сценаріїв реального світу
Середовища віртуальної реальності	Пристрої IoT можна використовувати для створення середовищ віртуальної реальності, які імітують нанотехнологічні процеси в реальному світі	Це може надати студентам і професіоналам цінний практичний досвід і допомогти їм підготуватися до сценаріїв реального світу

Однак існують також проблеми, пов’язані з інтеграцією Інтернету речей у вищу освіту, включаючи конфіденційність і безпеку даних, відсутність стандартизації та потребу в спеціальних навичках і знаннях серед викладачів і співробітників.

Загалом, інтеграція технологій Інтернету речей у вищу освіту має значний потенціал для покращення освітнього досвіду та результатів для студентів, а також забезпечуючи ефективнішу та результативну роботу в установах. Забезпечуючи аналіз даних у реальному часі, симуляцію та моделювання, а також дистанційний моніторинг і контроль, IoT може допомогти підвищити якість та ефективність досліджень і навчання в галузі нанотехнологій.

Переваги та перспективи розвитку асинхронного навчання

Однією з ключових переваг асинхронного навчання є його гнучкість. Наноінженери часто зайняті люди з вимогливою роботою та особистим графіком, які можуть не мати змоги відвідувати традиційні особисті заняття. Дозволяючи здобувачам отримувати доступ до матеріалів курсу та працювати зі змістом курсу у своєму власному темпі, асинхронне навчання забезпечує засоби для пристосування до цих розкладів.

Ще однією перевагою асинхронного навчання є його масштабованість. У традиційних класних підходах розмір аудиторії обмежений фізичним простором і наявними ресурсами. При асинхронному навчанні розмір аудиторії обмежується лише доступністю матеріалів курсу та потужністю системи керування навчанням, яка використовується для проведення курсу.

З точки зору засобів і методів асинхронного навчання, ряд підходів були використані для забезпечення асинхронного навчання в галузі наноінженерії. До них входять онлайн-відео та навчальні посібники, дискусійні форуми та онлайн-модулі для самостійного навчання. У багатьох випадках ці матеріали розроблені як інтерактивні, зі студентами, які можуть задавати запитання та отримувати відгуки від викладачів.

Одна з проблем асинхронного навчання полягає в тому, щоб студенти були зацікавлені та мотивовані виконувати віддалену асинхронну роботу . Щоб вирішити цю проблему, деякі програми включили елементи гейміфікації, такі як системи балів, тести та інші інтерактивні функції, щоб заохотити студентів до залучення та мотивації.

Підсумовуючи, використання асинхронного навчання стає все більш популярним підходом до підготовки фахівців в галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності. Пропонуючи гнучкість, масштабованість і здатність пристосовуватися до напружених графіків, асинхронне навчання має потенціал бути ефективним і результативним засобом надання профелізованої освіти в галузі наноінженерії.

Асинхронне навчання є цінним засобом і методом підготовки фахівців в галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності. Цей тип навчання забезпечує гнучкість і зручність, дозволяючи майбутнім наноінженерам отримувати доступ до навчальних матеріалів і виконувати навчальний план у власному зручному темпі.

Крім того, асинхронне навчання можна покращити за допомогою різних технологій онлайн-навчання, таких як онлайн-форуми, вебінари та відеолекції. Це може надати наноінженерам ширший спектр навчальних ресурсів і можливостей для взаємодії учасниками освітнього процесу.

Однак важливо зазначити, що асинхронне навчання може підходити не всім студентам, а змішаний підхід, який включає як синхронні, так і асинхронні елементи, може бути ефективнішим. Крім того, закладам вищої освіти

надзвичайно важливо забезпечити якість програм асинхронного навчання та надати адекватну підтримку студентам і викладачам.

Для фахівців в галузі наноматеріалознавства важливо мати можливість продовжувати свою освіту та професійний розвиток за допомогою гнучких та інноваційних засобів, таких як асинхронне навчання. Використовуючи ці ресурси та можливості, майбутні фахівці в галузі наноматеріалознавства можуть залишатися конкурентоспроможними та готовими до викликів і можливостей майбутнього.

Література

1. Suchikova Y., Kovachov S., Lazarenko A., Bohdanov I. (2022) Research of synthesis conditions and structural features of heterostructure AlXGa1-XAs/GaAs of the “desert rose” type. Applied Surface Science Advances. Vol. 12. P. 100327. DOI: 10.1016/j.apsadv.2022.100327.
2. Suchikova Y., Kovachov S., Bohdanov I. (2022) Formation of oxide crystallites on the porous GaAs surface by electrochemical deposition. Nanomaterials and Nanotechnology. Vol. 12. P. 18479804221127307.
3. Emerich D. F., Thanos C. G. (2003) Nanotechnology and medicine. Expert Opinion on Biological Therapy. Vol. 3, No. 4. P. 655-663.
4. Singh A., Amiji M. M. (2022) Application of nanotechnology in medical diagnosis and imaging. Current Opinion in Biotechnology. Vol. 74. P. 241-246.
5. Suchikova Y. O., Bogdanov I. T., Kovachov S. S., Kamensky D. V., Myroshnychenko V. O., Panova N. Y. (2020) Optimal ranges determination of morphological parameters of nanopatterned semiconductors quality for solar cells. Archives of Materials Science and Engineering. Vol. 101, No. 1. DOI: 10.5604/01.3001.0013.950.
6. Suchikova Y. (2016) Provision of environmental safety through the use of porous semiconductors for solar energy sector. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. No. 6(5). P. 26–33.
7. Karipbayev Z. T., Kumarbekov K., Manika I., Dauletbekova A., Kozlovskiy A. L., Sugak D., Popov A. I. (2022) Optical, structural, and mechanical properties of Gd3Ga5O12 single crystals irradiated with 84Kr+ ions. Physica Status Solidi (b). Vol. 259, No. 8. P. 2100415.
8. Bohdanov I., Kovachov S., Suchikova Y., Moskina A., Tsebriienko T., Popov A. I. (2022, September) Synthesis of Diamond-Like Arsenolite Crystallites on Surface of Gallium Arsenide. In 2022 IEEE 12th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP). Pp. 01-05. IEEE.
9. Suchikova Y. O., Bogdanov I. T., Kovachov S. S. (2019) Oxide crystals on the surface of porous indium phosphide. Archives of Materials Science and Engineering. Vol. 98, No. 2.
10. Usseinov A., Koishybayeva Z., Platonenko A., Pankratov V., Suchikova Y., Akilbekov A., Popov A. I. (2021) Vacancy defects in Ga2O3: First-principles calculations of electronic structure. Materials. Vol. 14, No. 23. P. 7384.
11. Suchikova Y., Lazarenko A., Kovachov S., Usseinov A., Karipbaev Z., Popov A. I. (2022, February) Formation of porous Ga 2 O 3/GaAs layers for electronic devices. In 2022 IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET). Pp. 01-04. IEEE.
12. Fytianos G., Rahdar A., Kyzas G. Z. (2020) Nanomaterials in cosmetics: Recent updates. Nanomaterials. Vol. 10, No. 5. P. 979.
13. Saleem H., Zaidi S. J. (2020) Sustainable use of nanomaterials in textiles and their environmental impact. Materials. Vol. 13, No. 22. P. 5134.
14. Mukherjee A., Majumdar S., Servin A. D., Pagano L., Dhankher O. P., White J. C. (2016) Carbon nanomaterials in agriculture: a critical review. Frontiers in Plant Science. Vol. 7. Article 172.
15. Dhinakaran V., Shree M. V. (2021) The role and applications of nanomaterials in the automotive industry. In Nanomaterials and Nanocomposites. Pp. 51-59. CRC Press.

16. Yang H., Liu C., Yang D., Zhang H., Xi Z. (2009) Comparative study of cytotoxicity, oxidative stress and genotoxicity induced by four typical nanomaterials: the role of particle size, shape and composition. Journal of Applied Toxicology. Vol. 29, No. 1. P. 69-78.
17. Kumar N., et al. (2019) Nanomaterials-enabled lightweight military platforms. In Nanotechnology for Defence Applications. Pp. 205-254.
18. Suchikova Y., Shishkin G., Bardus I., Skurska M., Starostenko K. (2021) Training Prospective Nanotechnologists to Select Optimum Solutions for the Nanostructures Synthesis Using the Analytic Hierarchy Process. TEM Journal. Vol. 10, No. 4. Pp. 1796–1802.
19. Suchikova Y., Bohdanov I., Kovachov S., Lazarenko A., Shishkin G. (2021) Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis. In 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2021 - Proceedings. P. 584–588.
20. Light Feather J., Aznar M. F. (2018) Nanoscience Education, Workforce Training, and K-12 Resources. CRC Press. Available at: https://doi.org/10.1201/9781315219417
21. Lavrysh Y., Lytovchenko I., Lukianenko V., Golub T. (2022) Teaching during the wartime: Experience from Ukraine. Educational Philosophy and Theory. Available at: https://doi.org/10.1080/00131857.2022.2098714.
22. McNutt M., Hildebrand J. (2022) Scientists in the line of fire. Science. Vol. 375, No. 6585. P. 1071-1071. Available at: https://doi.org/10.1126/science.abp8817
23. Fortunato, J., Gigliotti, R., & Ruben, B. (2018). Analysing the dynamics of crisis leadership in higher education: A study of racial incidents at the University of Missouri. Journal of Contingencies and Crisis Management, 26(4), 510-518. https://dx.doi.org/10.1111/1468-5973.12220
24. Petrić, Howe N., Gaind, N., & Van Noorden, R. (2022). Nature's Take: how the war in Ukraine is impacting science. Nature. https://doi.org/10.1038/d41586-022-03155-z
25. Fiialka, S. (2022). Assessment of war effects on the publishing activity and scientific interests of Ukrainian scholars. Knowledge and Performance Management, 6(1), 27–37. https://doi.org/10.21511/kpm.06(1).2022.03
26. Wegerif, R. (1998). The social dimension of asynchronous learning networks. Journal of asynchronous learning networks, 2(1), 34-49.
27. Rehman, R., & Fatima, S. S. (2021). An innovation in Flipped Class Room: A teaching model to facilitate synchronous and asynchronous learning during a pandemic. Pakistan Journal of Medical Sciences, 37(1), 131.
28. Careaga-Butter, M., Quintana, M. G. B., & Fuentes-Henríquez, C. (2020). Critical and prospective analysis of online education in pandemic and post-pandemic contexts: Digital tools and resources to support teaching in synchronous and asynchronous learning modalities. Aloma: revista de psicologia, ciències de l'educació i de l'esport Blanquerna, 38(2), 23-32.
29. Lipomi, D. J., Fenning, D. P., Ong, S. P., Shah, N. J., Tao, A. R., & Zhang, L. (2020). Exploring Frontiers in Research and Teaching: NanoEngineering and Chemical Engineering at UC San Diego. ACS nano, 14(8), 9203-9216.
30. Persada, S. F., Prasetyo, Y. T., Suryananda, X. V., Apriyansyah, B., Ong, A. K., Nadlifatin, R., ... & Ardiansyahmiraja, B. (2022). How the Education Industries React to Synchronous and Asynchronous Learning in COVID-19: Multigroup Analysis Insights for Future Online Education. Sustainability, 14(22), 15288.
31. Díaz, J., Saldaña, C., & Avila, C. (2020). Virtual world as a resource for hybrid education. International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET), 15(15), 94-109.
32. John, A. A., Thakur, P., & Singh, G. (2022). Potential, concepts, and key advances for a ubiquitous adaptive indigenous microengineering and nanoengineering in 6G network. International Journal of Communication Systems, e5410.
33. Sahai, A. K., & Rath, N. (2021). Artificial intelligence and the 4th industrial revolution. In Artificial intelligence and machine learning in business management (pp. 127-143). CRC Press.
34. Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2021). Pedagogy and innovative care tenets in COVID-19 pandemic: An enhancive way through Dentistry 4.0. Sensors International, 2, 100118.
35. Salau, B., Rawal, A., & Rawat, D. B. (2022). Recent advances in artificial intelligence for wireless internet of things and cyber-physical systems: A comprehensive survey. IEEE Internet of Things Journal.

3.7. Цифрове біхронне навчання фахівців в галузі наноматеріалознавства під час війни в Україні

Пандемія COVID-19 призвела декілька років тому до закриття навчальних закладів по всьому світу. Це зумовило необхідність цифровізації освіти та організації дистанційної форми навчання [1]. На той момент не всі викладачі університетів володіли методиками цифрового навчання на високому рівні [2]. Недостатнє оснащення технічними засобами теж було значною перешкодою до впровадження дистанційної освіти [3]. Особливо це позначилося на студентах та викладачах, які проживали у сільській місцевості, адже не всі мали відеокамери для організації відеозустрічей, а через обмеження пересування вони не мали змогу придбання необхідних гаджетів.

Поступово ситуація виправилася, світ пристосувався до нових реалій та швидко напрацював відповідні інструменти організації онлайн навчання [4]. В університетах України було впроваджено віртуальну систему управління навчанням Moodle, організовано навчання з оволодіння цієї системи [5]. Викладачі завантажували навчальні курси, тестові та контрольні завдання, лекції та презентації, вели електронний журнал успішності студентів. Поступово також майже кожен студент та викладач придбали необхідне комп'ютерне обладнання та прилади відео-зв'язку для організації відеозустрічей.

Здавалося, світ якісно оволодів всіма технологіями дистанційної освіти та організації праці у віддаленому форматі. Для студентів технічних та інженерних спеціальностей, навчання яких передбачає роботу в лабораторіях, було розроблено низку комп'ютерних симуляторів та інтерактивних додатків, що забезпечило безперервну підготовку інженерних кадрів [6, 7].

Цей досвід став неоціненним та дав змогу зрозуміти, що людство готово до нових викликів, тепер перехід на віддалену роботу здійснювався легко в залежності від епідеміологічної ситуації в регіоні. Та людство ніколи не підготується до іншого виклику – війни. «4 лютого 2022 року Україна прокинулася від вибухів. Почалася повномасштабна війна. З цього дня навчальний процес у всіх закладах України було призупинено [8]. Поступово перший шок від нових реалій пройшов. Українці зрозуміли, що необхідно пристосовуватися до цих

реалій і продовжувати жити, працювати, навчатися навіть якщо над головою летають ракети [9].

Після місяця вимушених канікул Міністерство освіти і науки України рекомендувало університетам розпочати освітній процес в залежності від безпекової ситуації в регіонах у дистанційному чи змішаному форматі. Станом на 22 березня 2022 року освітній процес було відновлено в закладах вищої освіти у 15 областях України, частково запрацювали ЗВО у 2 регіонах, університети 4 областей продовжили перебування на канікулах. Станом на 14 квітня 2022 року у кожному регіоні України ЗВО відновили освітній процес за дистанційною або змішаною формою, а також за режимом консультації та самостійної роботи студентів. Лише у двох регіонах були заклади, які вимушено продовжували перебувати на канікулах. Ці регіони перебували під окупацією, і здійснювати навчальний процес в таких умовах було неможливо. Поступово Наказом Міністерства освіти і науки Україні такі заклади були переміщені на території, підконтрольні Україні [10]. Організовану евакуацію студентів та персоналу університету здійснити у цих регіонах не було можливим. Тому кожен приймав самостійне рішення щодо переїзду з окупованої території на території, підконтрольні Україні або за кордон [11]. Значна частка викладачів і студентів таких університетів залишилися жити на окупованих територіях. Значний досвід організації дистанційного роботи дозволив розпочати навчання не залежно від місця перебування [12].

На сьогодні існує низка досліджень, присвячених якості дистанційного навчання під час пандемії [13 - 15]. Однак у цих дослідженнях не розкривається значення цифровізації освіти та застосувань технологій (додатки, ШІ) для полегшення засвоєння навчальних курсів студентами та покращення взаємодії студент-викладач. Також майже не досліджувалося як впровадження технологій впливає на сприйняття студентами навчання, а саме чи оцінюють вони таке навчання як високоякісне (конгітивноактивне) [16]. Тим більше намає досліджень, пов’язаних не з пандемією, а війною.

У цій главі ми досліджуємо вплив технологій на якість біхронного навчання під час війни в Україні, а саме на сприйнятті студентами класичних курсів та курсів, в яких запроваджено сучасні технології.

Методологія

Контекст

Дослідження проводилося на базі Бердянського державного педагогічного університету, який у квітні 2022 року був релокований до м. Запоріжжя через окупацію м. Бердянська. Сьогодні університет вже більше року працює у повністю віртуальному форматі, так як через окупацію було втрачено всю матеріально-технічну базу [17]. Університет на має навчальних та адміністративних приміщень, кожен працівник працює віддалено, університет працює в форматі «університет без стін» [18].

Учасники

Учасниками дослідження були студенти, які навчаються на другому рівні вищої освіти (магістратура) спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали», а також викладачі, які викладають навчальні курси для цих студентів.

Методи

Для дослідження впливу технологій на якість біхронного навчання під час війни, а саме сприйняття студентами класичних курсів та курсів, в яких запроваджено сучасні технології, було здійснено:

- Аналіз освітніх компонент (дисциплін), які викладаються у студентів;
- Опитування викладачів щодо готовності застосовувати нові технології у своїх курсах;
- Опитування студентів «Дисципліна очима студентів».

Слід зазначити, що в університеті діє Система забезпечення якості освіти, в межах якої постійно проводиться моніторинг задоволеності студентів шляхом проведення опитувань. Однак, зважаючи на те, що відповідні опитування уніфіковано для всіх спеціальностей, вони не враховують специфіки інженерних спеціальностей. Також у цих уніфікованих опитуваннях не враховано цифровізацію освіти та застосування новітніх технологій. Тому на Кафедрі фізики та методики навчання фізики було розроблено окремі анкети з урахуванням зазначених маркерів.

Анкетування проводили протягом лютого 2023 року, тобто через рік після початку війни. З міркувань безпеки опитування проводилося анонімно. З цих же міркувань ми не наводимо жодних прізвищ викладачів чи студентів.

Обробку результатів здійснювали за допомогою програмних пакетів SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) та OriginPro.

Результати

Аналіз освітніх компонент

Освітньо-професійна програма здобуття другого рівня вищої освіти ступеня магістр освіти для спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали» містить 16 освітніх компонент (дисциплін), серед яких 11 є обов'язковими (ОК), а 5 – вибірковими (ВК) (таблиця 3.16).

Таблиця 3.16 – Дисципліни, які викладаються на спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали»

№	Освітня компонента		
	Назва	***Кількість кредитів***	***Форма контролю***
	Обов'язкові компоненти		
ОК 1.	Еволюція фізичної картини світу	3	екзамен
ОК 2.	Основи наукових досліджень	3	залік
ОК 3.	Охорона праці в галузі	3	екзамен
ОК 4.	Фізика твердого тіла	6	екзамен
ОК 5.	Фізика напівпровідників	6	екзамен
ОК 6.	Основи теорії пружності і пластичності	6	залік
ОК 7.	Фізика напівпровідникових приладів	6	залік
ОК 8.	Експериментальні методи фізики твердого тіла	6	залік

№	Освітня компонента		
	Назва	***Кількість кредитів***	***Форма контролю***
	Обов'язкові компоненти		
ОК 9.	Наноматеріалознавство	5	екзамен
ОК 10.	Матеріали електронної техніки	5	екзамен
ОК 11.	Виробнича практика	12	залік
	Вибіркові компоненти		
ВК. 1.	Фізика аморфного стану	5	залік
ВК. 2.	Фізика поверхні	5	залік
ВК. 3.	Дефекти напівпровідників	3	екзамен
ВК. 4.	Моделювання наноструктур	6	екзамен
ВК. 5.	Методи дослідження наноструктурних матеріалів	3	залік

З врахуванням військового стану, режиму дистанційної роботи та втратою матеріально-технічної бази університету ще навесні 2022 року було оновлено зміст кожної дисципліни та удосконалено методи викладання цих дисциплін. На засіданні кафедри було ретельно проаналізовано кожну освітню дисципліну та потреби у лабораторному оснащенні. За результатами цього моніторингу було виявлено, що освітні компоненти ОК 7, ОК 8, ОК 9, ОК 10, ОК 11, ВК 2, ВК 4 та ВК 5 передбачають наявність наукового та лабораторного обладнання та проведення занять безпосередньо в лабораторіях. Тому для цих освітніх компонент було екстрено розроблено цифрові методи організації освітнього процесу із застосуванням сучасних додатків та технологій. Для освітніх компонент, які не передбачають наявності обладнання та лабораторій цієї вимоги поставлено не було, викладачам було запропоновано самостійно обирати форми і методи організації освітнього процесу.

Також одночасно з цим здійснювався моніторинг готовності викладачів застосовувати нові технології та цифровізувати навчальні курси. За результатами цього моніторингу було виявлено, що 40% викладачів мають необхідні цифрові компетентності та готові до оновлення курсів з урахуванням

цифровізації. Ще 30% викладачів виявили бажання негайно пройти підвищення кваліфікації і записалися на проходження курсів ("Google Digital Tools for Education" та інші). Проте 30% викладачів сказали, що не мають можливостей та бажання цифровізувати навчальні дисципліни та запроваджувати там сучасні інформаційні технології. Свої відповіді вони обґрунтували наступним чином:

- «Я не маю технічних можливостей. Я виїхав з окупації без персонального комп'ютеру і маю лише планшет»
- «У мене і так проблеми з інтернетом, а без інтернету я не в змозі цього зробити»
- «Мої курси не потребують такого переформатування»
- «У мене і так надмірне навантаження, я не зможу знайти час на таку нову діяльність».

З урахуванням цього було прийнято рішення про перерозподіл курсів між викладачами з урахуванням їх спроможності впроваджувати нові технології в освітній процес.

Влітку, під час літніх канікул, стало зрозуміло, що не всі викладачі кафедри зможуть продовжувати працювати в університеті. Певна частина кафедри залишилися жити в окупованому Бердянську, ці викладачі прийняли рішення розірвання контракту з університетом. З міркувань безпеки ми не повідомляє відсоток таких викладачів та причини, які спонукали їх на таку дію.

Тому перед кафедрою постало питання кадрового забезпечення спеціальностей. Для викладання певних курсів на кафедру було запрошено 3 зовнішніх професори із Запоріжжя і Києва (Україна), а також Варшави (Польща). Також до розробки курсів активно залучалися аспіранти кафедри.

Новий навчальний рік (2023/2024) приніс ще один виклик. Через постійні ракетні обстріли критичної та енергетичної інфраструктури України було застосовано графікі відключення світла: екстрені, стабілізаційні, планові. Україна опинилася в режимі «блекаутів», деякі регіони навіть в «блекдауні». Це означає, що електроживлення розподілених мереж здійснювалося лише у визначені часи. В залежності від ступеня руйнувань електросистеми в кожному регіоні світло подавали в дома протягом 6, 4, інколи навіть 2х годин на добу. В деяких регіонах світла не було тижнями. У таких умовах навіть традиційне дистанційне онлайн-

навчання здійснювати неможливо. Освітні програми знову потребували нових форм. З урахуванням цього було запроваджено біхронне навчання, що означає комбінування синхронного та асинхронного режимів навчання [19, 20].

Цифровізація змісту навчання

Враховуючи те, що університет повністю втратив матеріально-технічну базу, було прийнято рішення проводити дослідження властивостей наноматеріалів у Центрах колективного користування обладнанням у м. Суми (Україна), м. Варшава (Польща), м. Лунд (Швеція), м. Рига (Латвія). Звісно, не було можливості привести всіх студентів на ці випробування, тому було розроблені технології дистанційного керування процесом випробувань зразків (з використанням методів SEM, TEM, XRD, EDX, RAMAN тощо) у форматі ЗУМ-зустрічей.

Для обробки даних, отриманих при вимірюванні властивостей наноструктур у межах освітніх компонент ОК 9, ОК 10, ОК 8, ОК 11, ВК 4 було розроблено низку лабораторних занять з використання програмних пакетів дослідження кристалічної структури наноматеріалів, а саме:

- Cambridge Structural Database (CSD);
- Inorganic Crystal Structure Database (ICSD);
- VESTA;
- Crystallography Open Database;
- Materials Project.

Для інтерпритації даних мікроскопічних досліджень структур матеріалів було запропоновано програмний продукт IMAGE J. Для аналізу даних та побудови графіків було застосовано Origin Pro.

Для всіх освітніх компонент студентам було запропоновано готувати звіти за допомогою інструментів та додатків, створених на основі Штучного Інтелекту, а саме:

- summate.it;
- Consensus;
- SCISPACE;
- Elicit;
- Perplexity AI;
- Semantic Scholar.

Для розрахунків та інтерпретації даних таблиць студенти використовували ChatGPT.

Крім того, біхромне навчання реалізовувалося тим, що окрім традиційних зум-зустрічей, було використано режим «Відкритих курсів». Відкритий онлайн курс – це інформаційна система, яка є достатньою для формування компетентностей за допомогою опосередкованої взаємодії віддалених один від одного учасників курсу спеціалізованому середовищі, яке функціонує на базі сучасних психологопедагогічних та інформаційно-комунікаційних технологій. Тобто студенти у будь-який час могли опановувати самостійно матеріали курсу. Для консультації з викладачем було застосовано такі механізми:

- Організація телеграм-чатів;
- OpenDoors «питання-відповідь» - короткі зустрічі у ЗУМ без прив'язки до роскладу занятть;
- Інтенсиви тощо.

Опитування студентів «Дисципліна очима студентів»

Студентам було запропоновано оцінити всі освітні компоненти за трьома предикторами: «Доступність», «Інтерес» і «Користь». Предиктор складність визначався за 5-ти бальною шкалою де 1 – «занадто складна до засвоєння» і 5 – «легко засвоїв та досяг всіх програмних результатів». Предиктор «Інтерес» визначався за 5-ти бальною шкалою, де 1 – «зовсім нецікаво було вивчати цю дисципліну» і 5 – «дуже цікава дисципліна». Предиктор «Користь» теж визначався за 5-ти бальною шкалою, де 1 – «не знаю, як це мені може знадобитися у професійній діяльності», 5 – «дуже корисна дисципліна, я набув професійних і цифрових компетенцій, а також м'яких та жорстких навичок». У таблиці 3.17 представлено узагальнені дані опитування «Дисципліна очима студентів», подано середні дані на основі відповідей всіх студентів, а також загальна оцінка дисципліни, розрахована як сума середніх показників за трьома предикторами. Тобто мінімальна кількість балів, яку могла набрати дисципліна – 3, максимальна – 15 балів. Рівень зацікавленістю дисципліни визначався за такою шкалою:

(3 – 6) балів - Низький рівень задоволеності;

(7 – 9) балів - Достатній рівень задоволеності;

(10 – 11) - Середній рівень задоволеності;

(12 – 13) - Високий рівень задоволеності;

(14 – 15) - Дуже високий рівень задоволеності.

Таблиця 3.17 – Результати опитування «Дисципліна очима студентів»

№	Освітня компонента			
	Доступність	***Інтерес***	***Користь***	***Total***
	Обов'язкові компоненти			
ОК 1.	4	5	3	12
ОК 2.	4	3	4	11
ОК 3.	5	3	5	13
ОК 4.	3	4	3	10
ОК 5.	3	4	4	11
ОК 6.	2	3	4	9
ОК 7.	4	4	5	13
ОК 8.	5	4	5	14
ОК 9.	5	5	5	15
ОК 10.	5	5	5	15
ОК 11.	4	5	5	14
	Вибіркові компоненти			
ВК. 1.	5	4	4	13
ВК. 2.	5	4	5	14
ВК. 3.	3	4	5	12
ВК. 4.	3	4	4	11
ВК. 5.	5	4	4	13

Результати, представлені у таблиці 3.17 свідчать, що загалом студенти задоволені дисциплінами, які у них викладаються. Всі освітні компоненти набрали від 9 до 15 балів. Загалом, 6% (n=1) дисциплін були оцінені як «Достатній рівень задоволеності»; 25% (n=4) – хороший рівень, 38% (n=6) і 31% (n=5) - високий та дуже високий рівень задоволеності студентів дисциплінами.

Ті освітні компоненти, для яких було визначено обов'язковість розробки цифрових методів організації освітнього процесу із застосуванням сучасних додатків та технологій (ОК 7, ОК 8, ОК 9, ОК 10, ОК 11, ВК 2, ВК 4 та ВК 5) продемонстрували високий та дуже високий рівень задоволеності студентів, окрім ОК 4 «Моделювання наноструктур», яка набрала 11 балів. Студенти вважають її складною, що відповідає дійсності. 5 з цих освітніх компонент отримали оцінку «дуже високий рівень задоволеності» і 2 – «високий рівень задоволеності». Лише 2 дисципліни, для яких не визначалося обов'язковою вимогою цифровізацію, отримали оцінку 13 балів, що відповідає високому рівню задоволеності.

Таким чином, можемо констатувати, що цифровізація освітніх компонент була позитивно оцінена студентами, вони відзначали у своїх відповідях, що це допомогло їм краще розумітися в змісті курсу, економити час та стимулювало додатковий інтерес. Крім того, студенти зазначали, що були раді отримати додаткові навички, що пов'язані з використанням штучного інтелекту та спеціальних програмних пакетів.

Це дослідження є пересічним, адже воно проводилося в екстрених умовах та у короткі терміни через необхідність негайно пристосовуватися до нових реалій, в яких сьогодні опинилися українські університети. Тому результати його не можуть претендувати на репрезентативність та всеосяжність. Однак воно дає розуміння, що студенти краще сприймають нові технології, цифрові методи та інструменти, ніж викладачі. Вони готові к швидким переходам між моделями навчання та є гнучкими. З оглядом на це, університетам слід спрямовувати свої політики на постійне вдосконалення професійних та загальних компетенцій викладачів, запроваджуючи принципи «освіти крізь все життя». Такі політики допоможуть швидко пристосовуватися до кризових та непередбачуваних ситуацій та забезпечать якісну підготовку майбутніх фахівців навіть в умовах невизначеності та при дії непереборних обставин.

У зв'язку з цим, на основі зібраних даних та аналізу результатів, можна зробити наступні висновки:

- Цифровізація освітніх компонент сприяла підвищенню задоволеності студентів та їх успішності у навчанні. Студенти позитивно оцінили

впровадження сучасних технологій, віртуальних лабораторій та дистанційних ресурсів, вважаючи їх корисними та стимулюючими.

- Студенти проявляють високу гнучкість і адаптивність до швидких змін у моделях навчання, швидше сприймаючи нові технології та цифрові методи, ніж викладачі. Це підкреслює необхідність постійного вдосконалення професійних та загальних компетенцій викладачів через реалізацію принципів освіти протягом життя.
- Застосування цифрових методів навчання та інноваційних підходів до організації освітнього процесу сприяло забезпеченню якісної підготовки майбутніх наноінженерів.
- Результати дослідження підтверджують, що університетам необхідно активно розвивати та підтримувати інфраструктуру, спрямовану на впровадження цифрових технологій, а також створювати сприятливе середовище для підготовки викладачів до роботи з новими інструментами. Це забезпечить успішне використання сучасних технологій в освітньому процесі та підвищить загальну ефективність навчання.

Література

1. S. G. Huber and C. Helm, "COVID-19 and schooling: evaluation, assessment and accountability in times of crises—reacting quickly to explore key issues for policy, practice and research with the school barometer," Educational Assessment, Eval. Accountability, vol. 32, no. 2, pp. 237–270, May 2020.
2. J. König, D. J. Jäger-Biela, and N. Glutsch, "Adapting to online teaching during COVID-19 school closure: teacher education and teacher competence effects among early career teachers in Germany," Eur. J. Teacher Educ., vol. 43, no. 4, pp. 608–622, Aug. 2020.
3. M. Hammer, R. Göllner, K. Scheiter, B. Fauth, and K. Stürmer, "For whom do tablets make a difference? Examining student profiles and perceptions of instruction with tablets," Comput. & Educ., vol. 166, p. 104147, Jun. 2021.
4. M. Sailer et al., "Technology-related teaching skills and attitudes: Validation of a scenario-based self-assessment instrument for teachers," Comput. Human Behav., vol. 115, p. 106625, Feb. 2021.
5. K. A. Girfanova, I. A. Cheremisina Harrer, L. V. Anufryenka, and A. V. Kavaliova, "Using LMS Moodle for Mastering English Skills as an Interactive Competition Tool," in Advances in Intelligent Systems and Computing. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 136–144.
6. P. Drijvers et al., "Distance mathematics teaching in Flanders, Germany, and the Netherlands during COVID-19 lockdown," Educational Stud. Math., vol. 108, no. 1-2, pp. 35–64, Oct. 2021.
7. S. Diwakar, V. K. Kolil, S. P. Francis, and K. Achuthan, "Intrinsic and extrinsic motivation among students for laboratory courses - Assessing the impact of virtual laboratories," Comput. & Educ., vol. 198, p. 104758, Jun. 2023.
8. I. Kostikova, L. Holubnycha, O. Marmaza, V. Budianska, O. Pochuieva, and H. Marykivska, "Real Country Experiences: On-line Teaching in Wartime after Pandemic in Ukraine," Int. J. Interact. Mobile Technol. (iJIM), vol. 17, no. 03, pp. 123–134, Feb. 2023.
9. Y. Moroz, "Here in Ukraine, science continues under air raids," Nature, vol. 605, no. 7911, p. 590, May 2022.

10. Y. Suchikova, N. Tsybuliak, H. Lopatina, A. Popova, S. Kovachov, O. Hurenko and I. Bogdanov, "Is Science Possible Under Occupation? Reflection and Coping Strategy," Corporate Governance and Organizational Behavior Review, vol. 7, no. 2, 2023.
11. Y. Suchikova, N. Tsybuliak, H. Lopatina, L. Shevchenko, and A. I. Popov, "Science in times of crisis. How does the war affect the performance of Ukrainian scientists?," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, no. 1, pp. 408-424, 2023.
12. H. Lopatina, N. Tsybuliak, A. Popova, I. Bohdanov, and Y. Suchikova, "University without Walls: Experience of Berdyansk State Pedagogical University during the war," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, Special Issue, 2023.
13. R. Donnelly and H. A. Patrinos, "Learning loss during Covid-19: An early systematic review," PROSPECTS, Nov. 2021.
14. B. A. Betthäuser, A. M. Bach-Mortensen, and P. Engzell, "A systematic review and meta-analysis of the evidence on learning during the COVID-19 pandemic," Nature Human Behaviour, Jan. 2023.
15. F. Martin, S. Kumar, A. D. Ritzhaupt, and D. Polly, "Bichronous online learning: Award-winning online instructor practices of blending asynchronous and synchronous online modalities," Internet Higher Educ., vol. 56, p. 100879, Jan. 2023.
16. T. Fütterer, E. Hoch, A. Lachner, K. Scheiter, and K. Stürmer, "High-quality digital distance teaching during COVID-19 school closures: Does familiarity with technology matter?," Comput. & Educ., p. 104788, Mar. 2023.
17. Y. Suchikova, "A year of war," Science, vol. 379, no. 6634, pp. 850, February 24, 2023.
18. Y. Suchikova and N. Tsybuliak, "Universities without walls: global trend v. Ukraine's reality," Nature, vol. 614, pp. 413, February 14, 2023.
19. M. Brzezinska, "Global Skills in the Global Pandemic: How to Create an Effective Bichronous Learning Experience During an Emergency Shift to Remote Instruction," in Lecture Notes in Networks and Systems. Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 679–706.
20. G. Mohammadi, "Teachers' CALL professional development in synchronous, asynchronous, and bichronous online learning through project-oriented tasks: developing CALL pedagogical knowledge," J. Comput. Educ., Feb. 2023.

3.8. Використання спеціалізованого програмного забезпечення та елементів штучного інтелекту при навчанні майбутніх нанофахівців в умовах дистанційного навчання

Сьогодні нанотехнології, як основні проривні технології, впевнено переходять з площини лабораторних досліджень до промислового виробництва та застосування майже в усіх галузях народного господарства, суспільних практик, воєнної промисловості і національної безпеки [1]. Подальший розвиток системи національної безпеки та оборони України вимагає від системи вищої освіти підготовки компетентних фахівців у галузі наноматеріалознавства, здатних застосовувати на практиці новітні досягнення сучасної науки, творчо використовувати та створювати інноваційні наноматеріали і нанотехнології [2]. Проте на сьогодні назріла суперечність у системі підготовки цих фахівців: між потребами оборонної галузі у високопрофесійних фахівцях та недостатнім рівнем сформованості їхньої професійної компетентності [3]. Тобто є деякі об'єктивні проблеми через суперечність між моделями підготовки відповідних фахівців, з одного боку, та вимогами бізнесу, суспільства та держави до фахівців у професіях майбутнього, з іншого. Найбільш затребуваними є спеціалісти, які володіють сучасними технологіями синтезу наноструктур, маніпулюванням їхніми розмірами та властивостями та механізмами впровадження сучасних наноматеріалів у реальні сектори господарства, оборонних технологій і виробництва [4 - 7].

Україна відчуває цю потребу ще більше, адже маємо запит на розвиток критичних технологій та технологій подвійного призначення вже сьогодні. З іншого боку, маємо констатувати, що ми опинилися у ситуації нестачі фахівців, здатних готувати майбутніх наноінженерів до продуктивної діяльності та відсутності відповідних методик їхньої підготовки. Попит на відповідні спеціальності теж вкрай низький. Ситуація ускладняється ще тим, що маємо значні втрати матеріально-технічної бази університетів через руйнування, спричинені війною [8]. Підготовка фахівців переходить в онлайн та асинхронний формат [9, 10]. У світі теж наявна ця проблема через досі триваючу пандемію COVID [11].

Війна, з одного боку, вимагає негайної розробки нових воєнних технологій, з іншого боку - гальмує або зовсім унеможливлює освітній процес [12]. Руйнування,

знищення наукової та освітньої інфраструктури, внутрішнє та зовнішнє переміщення викладачів і студентів, окуповані міста та релокація з них університетів, відсутність електрики та інтернету - це ті виклики, які постають перед українською системою освіти [13 - 16]. Сьогодні вже є дослідження, присвячені впливу війни на наукову та викладацьку ефективність українських викладачів [17, 18]. Однак поки немає жодного дослідження щодо розробки систем, механізмів, технологій забезпечення якості підготовки фахівців до продуктивної діяльності в сучасних умовах. Тим більше, зовсім не досліджено питання підготовки наноінженерів в умовах дистанційного, змішаного навчання із застосуванням технологій синхронного та асинхронного навчання.

На допомогу можуть прийти дослідження, зосереджені на використанні сучасних методів оцінювання знань та здібностей студентів. Однією з таких технологій є адаптивна тестова система знань на основі нейронних мереж [19]. Цей підхід використовується для індивідуалізації процесу навчання, існуючи засновано на потребах кожного конкретного студента. Важливим аспектом є також оцінка соціально-економічних наслідків дистанційного навчання [20, 21]. В контексті глобалізації та технологічного прогресу, дистанційне навчання в галузях STEM і використання віддалених лабораторій стає все більш актуальним і широко обговорюється в міжнародній науковій спільноті [22, 23]. Ці технології дозволяють не тільки збільшити доступність та гнучкість освітніх програм, але і надають нові можливості для засвоєння знань та вмінь учнів, особливо в контексті фізичного дистанціювання та дистанційної роботи [24, 25]. Однак, під час пандемії COVID-19, коли багато навчальних закладів були змушені переходити від очного навчання до дистанційного, з'явилося багато викликів, пов'язаних із швидким переходом та адаптацією методів навчання [26, 27]. Виходячи з цього, актуальність та важливість використання сучасних технологій та методів навчання в контексті дистанційного навчання стає очевидною. Вони не тільки вирішують проблеми з навчанням в умовах соціального дистанціювання, але й розвивають нові компетенції, які є критично важливими для успіху в сучасному технологічному світі. Таким чином, актуальність дослідження цієї проблеми зростає, адже перехід на дистанційне навчання в навчальних закладах може призвести до розриву між необхідними навичками та тими, що надаються. Це в свою чергу може вплинути на якість підготовки спеціалістів в області нанотехнологій.

Розділ присвячено питанням підготовки фахівців в галузі наноматеріалознавства під час війни. В ній розглядається стратегія екстреного реагування на нові реалії та переформатування існуючих навчальних курсів та програм на дистанційний формат з використанням засобів синхронного та асинхронного навчання на прикладі Бердянського державного педагогічного університету. Описується покроковий план підготовки фахівців в галузі наноматеріалознавства, який включає використання засобів сучасних технологій, таких як онлайн-дослідження, програмні засоби для обробки даних, інтерпретація даних за допомогою штучного інтелекту.

Методологія

Контекст

Дослідження проводилося на базі Бердянського державного педагогічного університету (BSPU). Перед воєнним станом, навчальна програма «Прикладна фізика та наноматеріали» базувалася на традиційних наукових методах та практичних лабораторних заняттях. Студенти мали можливість прямого взаємодії з обладнанням для аналізу властивостей наноматеріалів і проведення власних досліджень. Вони також мали можливість обмінюватися думками та ідеями один з одним і безпосередньо з викладачами, досліджуючи різні аспекти прикладної фізики. Університет територіально був розташований у м. Бердянськ (Україна), яке з перших днів війни на початку 2022 року опинилося в окупації. Університет було захоплено окупантами, вся матеріально-технічна база була втрачена, а фізико-математичний корпус було розстріляно. У квітні 2022 року університет наказом Міністерства освіти і науки України було переміщено у м. Запоріжжя. Сьогодні університет існує повністю у віртуальному форматі. Навчання відбувається дистанційно із застосуванням методів синхронного та асинхронного навчання. У цих умовах постала серйозна проблема підготовки наноінженерів, адже традиційні програми передбачають роботу в лабораторіях та проведення вимірювань властивостей зразків. Ця ситуація зумовила необхідність переформатування програм та пошуку нових підходів до викладання.

Методологія дослідження

Методологія нашого дослідження була двоєтапна: перш за все, ми впровадили новий формат навчання, а потім оцінили його ефективність. Всього в програму було залучено 7 студентів.

На першому етапі ми внесли ряд змін до програми магістерського курсу з нанонауки. Викладачі розробили нові завдання та набори даних, створили відеоуроки та навчальні матеріали з методик обробки даних у нанонауці. Подальше навчання було зосереджено на використанні програмного забезпечення для обробки даних, включаючи засоби обробки та візуалізації даних, а також інструменти для написання наукових статей. Було також впроваджено використання технологій штучного інтелекту для допомоги у виконанні завдань.

На другому етапі ми провели оцінку ефективності нового формату. Це включало збір даних про оцінки студентів, результати опитувань задоволеності, та порівняння кількості прийнятих наукових статей за старим і новим форматом навчання.

Оцінки були взяті з урахуванням як кількісних, так і якісних параметрів. Кількісні показники включали кількість прийнятих наукових статей, а якісні - задоволеність студентів процесом навчання та якість отриманих навичок.

Опитування задоволеності було проведено за допомогою онлайн-опитувань, які включали питання про загальну задоволеність курсом, якість викладацького корпусу, зрозумілість матеріалу, доступність ресурсів для самостійної роботи, та якість взаємодії з викладачами та іншими студентами.
Враховуючи ліцензійний обсяг програми та невелику кількість залучених здобувачів (7 осіб), наші результати повинні бути розглянуті з урахуванням цього обмеження. Однак, ми вважаємо, що наша модель може бути впроваджена в інших установах або на більших програмах.

Методи дослідження властивостей наноматеріалів

Для реалізації дослідницької компоненти підготовки наноінженерів викладачами кафедри фізики та методики навчання фізики БДПУ було зроблено акцент на цифровізацію навчання та застосування технологій штучного інтелекту для підготовки здобувачів, які навчаються за програмою «Прикладна фізика та наноматеріали».

Для аналізу властивостей наноматеріалів, а також перевірки їхніх функціональних властивостей було розроблені технології дистанційного керування процесом випробувань зразків (з використанням методів SEM, TEM, XRD, EDX, RAMAN тощо). Так як власна матеріально-технічна база університету була втрачена, було заключено договір з Сумським державним університетом, з яким до війни були налагоджені тісні партнерські стосунки. База їхнього Центру колективним користуванням обладнанням «Лабораторія матеріалознавства геліоенергетичних, сенсорних та наноелектронних систем» містить таке наукове обладнання:

- Скануючий електронний мікроскоп SEO-SEM Inspect S50-B;
- Просвічуючий електронний мікроскоп ПЭМ-125К;
- Мікропроцесорний спектрофотометр Lasany LI-722;
- Високоефективний рідинний хроматограф Agilent Technologies 1200;
- Рентгенівський дифрактометр ДРОН-3М;
- Спектрометр ElvaX Light SDD;
- Раманівський мікроспектрометр RENISHAW inVia Reflex.

До Лабораторії матеріалознавства геліоенергетичних, сенсорних та наноелектронних систем було передано комплект дослідних зразків. Дослідження властивостей на вищезгаданому обладнанні відбувалося із залученням здобувачів в онлайн-форматі на ЗУМ-зустрічах.

Обробка даних

Наступним етапом було обробка даних, отриманих при вимірюваннях властивостей наноматеріалів. Було розроблено методики користування унікальними базами даних кристалічних структур та інших ресурсів і професійних програмних додатків, необхідних для проведення досліджень структур наноматеріалів (таблиця 3.16).

Таблиця 3.16 – Програмні продукти та бази даних, які застосовувалися для обробки даних

№	Програмний продукт/база даних	Призначення	Посилання
1	VESTA	Дослідження кристалічної структури	https://jp-minerals.org/vesta/en/
2	Cambridge Structural Database (CSD)	Дослідження кристалічної структури	https://www.ccdc.cam.ac.uk/
3	Inorganic Crystal Structure Database (ICSD)	Дослідження кристалічної структури	https://www.ccdc.cam.ac.uk/
4	Crystallography Open Database	Дослідження кристалічної структури	http://www.crystallography.net/cod/
	Materials Project	Дослідження кристалічної структури	https://materialsproject.org/
5	IMAGE J	Аналіз мікроскопічних зображень	https://imagej.net/ij/index.html
6	Origin Pro	Аналіз даних та наукових графіків	https://www.originlab.com/
7	StatNano	Класифікація наноматеріалів	https://statnano.com/
8	LabSolutions	Аналіз даних та наукових графіків	https://www.shimadzu.eu/labsolutions-0
9	Research4Life	Онлайн-доступ до академічного та професійного рецензованого контенту	https://www.research4life.org/

Більшість з цих програмних додатків та баз даних доступні за передплатою, через що доступ до них був обмежений для українських здобувачів освіти. Під час війни виробники цих продуктів відкрили вільний доступ до більшості з них для українських дослідників.

Аналіз джерел

Для пошуку та аналізу релевантних літературних джерел студентам було запропоновано застосовувати застосунки на основі ШІ (таблиця 3.17).

Таблиця 3.17 – Додатки на основі ШІ для пошуку та аналізу наукових джерел

№	Застосунок	Опис	Посилання
1	summate.it	«Quickly summarize web articles with OpenAI (experimental)»	https://summate.it/?ref=futurepedia
2	Consensus	«Ask a question, get conclusions from research papers»	https://consensus.app/search/
3	SCISPACE	«Your AI research assistant Do hours worth of reading and understanding in minutes Highlight confusing text, math, and tables to get a simple explanation Ask follow-up questions and get instant answers A new way to search and find relevant papers without specifying keywords»	https://typeset.io/
4	Elicit	«The AI Research Assistant»	https://elicit.org/tasks
5	Perplexity AI	«Допомагає у створенні систем інформаційного пошуку, які дозволяють шукати наукові статті з певних запитів, враховуючи контекст та семантику запиту»	https://www.perplexity.ai/
6	Semantic Scholar	«A free, AI-powered research tool for scientific literature»	https://www.semanticscholar.org/

Інтерпретація результатів

Для інтерпретації отриманих даних вимірювань та зібраних даних літературних джерел студентам було запропоновано використання великою мовної моделі ChatGPT. Зокрема було запропоновано працювати за такими запитами:

- Зробити таблицю з набору даних;
- Розрахувати розмір нанокристалітів за формулою Шеррера;

- Проаналізувати дані таблиці;
- Визначити залежності між змінними величинами;
- Встановити кореляційні зв’язки;
- Узагальнити результати.

Оформлення результатів та написання звіту

Для написання звіту студентам було запропоновано вибрати формат наукової статті IMRaD за типовою структурою (таблиця 3.18).

Також для спрощення процесу написання статті та удосконалення наукової академічної мови статті студентам було рекомендовано використовувати два інструменти на основі ШІ: додаток ChatGPT для Google документів «GPT for Sheets and Docs» та додаток Writefull для Microsoft Word. Зокрема, студентам було запропоновано у Writefull використовувати інструмент Sentence Palette, яка «пропонує набір фраз, які зазвичай використовуються в академічних роботах, упорядкованих за розділами та цілями».

Таблиця 3.18 – Формат звіту у вигляді наукової статті

Елемент статті	Опис, складові
Титульний аркуш:	Назва статті Імена та прізвища авторів Назва установи, де було проведено дослідження Анотація (короткий опис статті, зазвичай не більше 250 слів) Ключові слова (зазвичай 5-10 слів)
Вступ	Опис проблеми, яку розглядає стаття Мета дослідження Гіпотеза або основні питання, що досліджуються Огляд літератури (попередні дослідження на дану тему)
Методи дослідження	Опис методів та приладів, які були використані в дослідженні Детальний опис процедури дослідження Опис статистичних методів, які були використані для обробки даних
Результати	Опис результатів дослідження

	Графіки, таблиці та інші ілюстрації, що допомагають у розумінні результатів Обговорення отриманих результатів та їх значення
Обговорення	Аналіз результатів дослідження Порівняння з попередніми дослідженнями та обгрунтування відмінностей
Висновки	Основні результати дослідження Значення дослідження для науки та практики
Подяки та фінансування	Перелік грантів, за якими здійснювалося дослідження
Список літератури	Перелік всіх джерел, які були використані у статті
Додатки	За потреби

Навчання

Використання кристалографічних баз даних, програмних продуктів для обробки даних, а також додатків на основі ШІ потребують спеціальних знань та навичок. Студентам у вкрай короткий час треба було оволодіти цими знаннями. Відповідні курси у програмі передбачено не було. Також ситуацію ускладнювало те, що у цей час в Україні через постійні ракетні обстріли енергетичної системи були постійні відключення світла та, відповідно інтернету. В різних містах України світла не було по 16, 18, 20, 22 годин на добу. Тому проводити навчання у звичному сихронному режимі (із застосуванням ЗУМ) не було можливим. Тому було розроблено інтенсиви, які включали в себе:

- Перегляд навчаючих відео на ЮТУБ;
- Організація телеграм-чатів;
- Формат заняття OpenDoors «питання-відповідь»
- Семінари та воркшопи;
- Перегляд відео-лекцій відомих науковців у цій галузі.

Ці формати можливо здійснювати в асинхронному режимі. Це дозволило не тільки не зупинити навчальний процес, а й інтенфікувати його.

Фітбек

Основним критерієм досягнення цілей було встановлено підготовку звітів студентів, а також відбір найкращих звітів для публікації у співавторстві із викладачами статей у жжурналах, що індексуються наукометричною базою Scopus. Крім того, кожен здобувач повинен був виступити із доповіддю на конференції. Випускники магістратури повинні були захистити свої магістерські тезиси у грудні.

Крім того, постійно прроводився моніторинг задоволеністю студентів освітнім процесом. Було розроблено опитувальник у гугл формі, який студенти проходили після кожного навчального модулю.

Результати

Зараз, коли студенти спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали» провчилися у такому форматі майже рік, можна говорити, що війна значно вплинула на організацію навчального процесу, однак не завадила успішній підготовці майбутніх наноінженерів.

Одним з найвагоміших результаті є публікація у співавторстві зі студентами 6х статей у журналах, що індексуються у базі даних Scopus, зокрема у журналах:

- Applied Surface Science Advances;
- Nanomaterials and Nanotechnology;
- Metallofizika i Noveishie Tekhnologii;
- Physics and Chemistry of Solid State;
- Himia, Fizika ta Tehnologia Poverhni;
- Journal of Nano- and Electronic Physics.

Співавтрорами стали здобувачі 2го освітнього рівня (магістранти) та 3го освітньо-наукового рівня (PhD студенти). Всі випускники магістратури захистили свої магістерські дисертації на оцінку не нижче 86 балів («B» та «A»). За рік навчання у такому режимі роботи здобуваами було представлено доповіді на 7 конференціях. 2 студенти здобули перемогу (1 місце) у Обласному конкурсі для обдарованої молоді в номінаціях «Фізико-математичні науки. Студент», «Фізико-математичні науки. Молодий науковець».

Перед воєнним станом, навчальна програма базувалася на традиційних наукових методах та практичних лабораторних заняттях.

Однак в умовах воєнного стану, коли університет був змушений перейти на повністю віртуальний формат, ми зрозуміли, що потребуємо нового підходу. Замість прямої взаємодії з обладнанням, ми зосередились на використанні технологій штучного інтелекту для навчання студентів. Це включало використання методів дистанційного керування для проведення випробувань зразків, а також обробки даних і інтерпретації результатів за допомогою ChatGPT. Цей перехід вимагав значного зусилля, але ми визначили, що результати були досить позитивними. Навчальні програми зараз більше зосереджені на розумінні і інтерпретації даних, ніж на використанні спеціалізованого обладнання.

Особливо значущим є той факт, що студенти мають можливість працювати над власними дослідницькими проектами, використовуючи реальні дані, і що вони можуть публікувати свою роботу в рецензованих журналах. Це впливає на розвиток навичок критичного мислення і підготовку до майбутньої кар'єри.

Таким чином, хоча війна змусила нас переформатувати нашу навчальну програму, ми виявили, що це не тільки забезпечило продовження навчання наших студентів, але й привело до ряду позитивних результатів, які будуть мати тривалий вплив на підготовку наших майбутніх наноінженерів.

Опитування задоволеності студентів

Для вимірювання задоволеності студентів і аналізу ефективності навчання в університеті впроваджено Систему забезпечення якості освіти. Для цього постійно проводяться опитування задоволенності студентів. Опитування було впроваджено в онлайн-форматі за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для опитувань. Студенти повинні оцінити п'ять ключових параметрів навчального процесу за 5-бальною шкалою, де 1 означає "дуже незадоволений", а 5 - "дуже задоволений". Оцінювалися наступні аспекти: загальна задоволеність курсом, якість викладацького корпусу, зрозумілість матеріалу, доступність ресурсів для самостійної роботи, та якість взаємодії з викладачами та іншими студентами. У таблиці 3.19 представлені середні оцінки, отримані в результаті опитування студентів, які навчалися за старим форматом (2021 рік) та за новим форматом (2022 рік).

Таблиця 3.19. Середні оцінки студентського опитування за старим та новим форматами навчання

Параметр	Середня оцінка (за старим форматом – 2021 р)	Середня оцінка (за новим форматом – 2022 рік)
Загальна задоволеність курсом	3.5	4.6
Якість викладацького корпусу	4.0	4.4
Зрозумілість матеріалу	3.6	4.7
Доступність ресурсів для самостійної роботи	3.3	4.8
Якість взаємодії з викладачами	3.5	4.1
Якість взаємодії з іншими студентами	3.4	4.2

Аналіз результатів опитування виявив значне покращення в усіх аспектах навчального процесу після впровадження нового формату. Найбільше зростання задоволеності спостерігалося в таких категоріях як "доступність ресурсів для самостійної роботи" і "зрозумілість матеріалу", що вказує на ефективність застосування нових технологій та дистанційних методів навчання. Це підтверджує нашу гіпотезу, що впровадження дистанційного навчання та застосування нових технологічних рішень можуть покращити якість навчання навіть у випадку вимушеного переходу на дистанційне навчання через військові дії або інші надзвичайні обставини.

Хоча тут представлено конкретний кейс Бердянського державного педагогічного університету, цей приклад дозволяє нам висунути уніфіковану стратегію, яка може бути запроваджена в інших університетах для переходу до асинхронного дистанційного навчання в ситуаціях, коли це необхідно. Перший крок цієї стратегії полягає в адаптації навчального плану для асинхронного формату. Це може включати створення відео лекцій, інтерактивних завдань та наборів даних для самостійної роботи студентів.

Другий крок включає впровадження відповідного програмного забезпечення для обробки завдань та візуалізації даних. Це може включати використання програм з функціональними можливостями штучного інтелекту для забезпечення якісної обробки даних.

Третій крок полягає у впровадженні проекту написання наукової статті як форми навчання. Це допоможе студентам краще зрозуміти процес наукової роботи та забезпечити їм практичний досвід в цій області.

Четвертий та останній крок полягає у проведенні регулярних онлайн-зустрічей та консультацій з викладачами та іншими студентами для підтримки якості взаємодії та обміну ідеями.

Цінність представленого кейсу має конкретно визначені галузі та межі застосувань, а саме підготовка майбутніх наноінженерів для створення критичних технологій та технологій подвійного призначення. Значення цих технологій для України зараз важко переоцінити, так як вони виходять на перший план при забезпеченні обороноздатності країни та безпеки цивільного населення. Для світової науки та промисловості фахівці у галузі наноматеріалознавства мають критичне значення, адже рівень впровадження нанотехнологій кожної країни є вагомим показником економічного зростання. Потенційний ефект нанотехнологій – це позитивні зрушення та комерціалізація, впровадження нових проривних технологій, що є результатом науково-дослідної конструкторської діяльності. Очікується позитивна економічна віддача у вигляді таких зисків, як створення бізнесу, робочих місць, підвищення конкурентоспроможності, торгівлі, національної безпеки. Ці ланки є запорукою досягнення цілей сталого розвитку, визначених ООН, конкурентоспроможності країн, а для України - ще й забезпечення цілісності національних кордонів і безпеки населення. У цих вимогах часу найважливішим завданням постає підготовка висококваліфікованого конкурентоспроможного фахівця, який володіє загальними і фаховими компетенціями та здатен адаптуватися під вимоги часу і нові реалії.

На прикладі Бердянського державного педагогічного університету ми демонструємо стратегію екстреного реагування на нові реалії та переформатування існуючих навчальних курсів та програм на дистанційний формат з використанням засобів синхронного та асинхронного навчання. Зокрема, ми представляємо покроковий план підготовки наноінженерів, який включає:

- залучення здобувачів освіти до дослідження властивостей наноструктур у Центрах колективного користування обладнанням з використанням онлайн-технологій;

- розробка пакетів завдань для обробки великих даних результатів досліджень та вимірювань зразків;
- застосування великого пакету програмних засобів для обробки та візуалізації даних;
- використання у навчальному процесі спеціалізованих баз даних;
- запровадження технологій асинхронного навчання;
- використання штучного інтелекту для інтерпретації даних;
- написання звіту виконання дослідницького проєкту у форматі наукової статті.

Практичне застосування цього підходу показало його високу ефективність. Зокрема, співавторами стали здобувачі 2-го освітнього рівня (магістранти) та 3-го освітньо-наукового рівня (PhD студенти). Всі випускники магістратури захистили свої магістерські дисертації на оцінку не нижче 86 балів («B» та «A»). За рік навчання у такому режимі роботи здобувачами було представлено доповіді на 7 конференціях.

Наші результати показали, що студенти відзначають зростання загальної задоволеності курсом від 3.5 до 4.6, а якість викладацького корпусу покращилась від 4.0 до 4.4. Ми також зазначили підвищення зрозумілості матеріалу з 3.6 до 4.7, доступності ресурсів для самостійної роботи з 3.3 до 4.8, якості взаємодії з викладачами з 3.5 до 4.1, та якості взаємодії з іншими студентами з 3.4 до 4.2.

Ці результати підтверджують ефективність нашого підходу, та вказують на його великий потенціал для адаптації навчальних програм в інших вищих навчальних закладах, особливо в умовах екстремальних ситуацій. Таким чином, подана стратегія є вкрай ефективною і може бути масштабована для впровадження в інших навчальних закладах у випадку потреби швидкого переходу до дистанційного навчання.

Література

1. A. M. El-Khawaga, A. Zidan, and A. I. A. A. El-Mageed, "Preparation methods of different nanomaterials for various potential applications: A Review," J. Mol. Struct., p. 135148, Feb. 2023.
2. J. Light Feather and M. F. Aznar, Nanoscience Education, Workforce Training, and K-12 Resources. CRC Press, 2018.
3. D. J. Lipomi, D. P. Fenning, S. P. Ong, N. J. Shah, A. R. Tao and L. Zhang, "Exploring Frontiers in Research and Teaching: NanoEngineering and Chemical Engineering at UC San Diego," ACS Nano, vol. 14, no. 8, pp. 9203-9216, 2020
4. L. Abicht, H. Freikamp, U. Schumann, A. Bulgarelli, and C. Lettmayr, Identification of skill needs in nanotechnology. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006.

5. T. Nikraftar, E. Hosseini, and E. Mohammadi, "The factors influencing technological entrepreneurship in nanotechnology businesses," Revista de Gestão, vol. 29, no. 1, pp. 76-99, 2022.
6. A. Usseinov, Z. Koishybayeva, A. Platonenko, “Ab-Initio Calculations of Oxygen Vacancy in Ga2O3 Crystals,” Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, vol. 58(2), 2021, pp. 3–10.
7. M. S. Mufamadi, "From lab to market: Strategies to nanotechnology commercialization in Africa," MRS Bulletin, vol. 44, no. 6, pp. 421-422, 2019.
8. Y. Suchikova, N. Tsybuliak, H. Lopatina, L. Shevchenko, and A. I. Popov, "Science in times of crisis. How does the war affect the performance of Ukrainian scientists?," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, no. 1, pp. 408-424, 2023.
9. E. Abiltarova, L. Lisina, Y. Zhuravel, L. Neizhpapa, and Y. Mengyi, "Interactive Student Learning Technologies in Higher Education," J. Curriculum Teaching, vol. 11, no. 9, p. 107, Dec. 2022. Accessed: Apr. 15, 2023.
10. K. V. Vlasenko, O. O. Chumak, I. V. Lovianova, V. V. Achkan, and I. V. Sitak, "Personal e-Learning Environment of the Maths teacher’ online course as a means of improving ICT competency of a Mathematics teacher," J. Physics: Conf. Ser., vol. 2288, no. 1, p. 012038, Jun. 2022.
11. G. Baxter and T. Hainey, "Remote learning in the context of COVID-19: reviewing the effectiveness of synchronous online delivery," J. Res. Innovative Teaching & Learn., Mar. 2022. Accessed: Apr. 15, 2023.
12. N. Falko and O. Zhukov, "Transition from Hierarchy to Adhocratic Organizational Culture in a Ukrainian University: From Survival to Successful Development in the Conditions of War," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, no. 2-si, pp. 15-22, 2023
13. Y. Moroz, "Here in Ukraine, science continues under air raids," Nature, vol. 605, no. 7911, p. 590, May 2022.
14. O. Porkuian, O. Tselishchev, R. Halhash, Y. Ivchenko and O. Khandii, "Twice Displaced, but Unconquered: The Experience of Reviving a Ukrainian University During the War," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, no. 2-si, pp. 98-105, 2023
15. H. Lopatina, N. Tsybuliak, A. Popova, I. Bohdanov, and Y. Suchikova, "University without Walls: Experience of Berdyansk State Pedagogical University during the war," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, Special Issue, 2023.
16. Y. Suchikova and N. Tsybuliak, "Universities without walls: global trend v. Ukraine’s reality," Nature, vol. 614, pp. 413, February 14, 2023.
17. Y. Polishchuk, I. Lyman and S. Chugaievska, "The ‘Ukrainian Science Diaspora’ Initiative in the Wartime," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, no. 2-si, pp. 153-161, 2023
18. M. Maryl, O. V. Ivashchenko, M. Reinfelds, S. Reinsone, and M. E. Rose, "Addressing the needs of Ukrainian scholars at risk," Nature Human Behaviour, May 2022.
19. S. Maslovskyi and A. Sachenko, "Adaptive test system of student knowledge based on neural networks," in Proceedings of the 2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Warsaw, Poland, 2015, pp. 940-944, doi: 10.1109/IDAACS.2015.7341442.
20. V. Gaidelys, R. Čiutienė, G. Cibulskas, S. Miliauskas, J. Jukštaitė, and D. Dumčiuvienė, "Assessing the Socio-Economic Consequences of Distance Learning during the COVID-19 Pandemic," Educ. Sci., vol. 12, no. 685, 2022. [Online]. Available: https://doi.org/10.3390/educsci12100685
21. T. Lendyuk, S. Rippa, O. Bodnar, and A. Sachenko, "Ontology Application in Context of Mastering the Knowledge for Students," in Proceedings of the 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), Lviv, Ukraine, 2018, pp. 123-126, doi: 10.1109/STC-CSIT.2018.8526710.
22. M. Prince, R. Felder, and R. Brent, "Active student engagement in online STEM classes: Approaches and recommendations," Advances in Engineering Education, vol. 8, no. 4, pp. 1-25, 2020.
23. O. V. Klochko, V. M. Fedorets, A. D. Uchitel, and V. V. Hnatyuk, "Methodological aspects of using augmented reality for improvement of the health preserving competence of a Physical Education teacher," in CEUR Workshop Proceedings, vol. 2731, pp. 108-128, 2020.
24. M. J. I. Moran, A. Paul, D. May, and R. Hussein, "RHLab: Digital Inequalities and Equitable Access in Remote Laboratories," in 2023 ASEE Annual Conference & Exposition, 2023, June.

25. T. de Jong, "Moving towards engaged learning in STEM domains; there is no simple answer, but clearly a road ahead," Journal of Computer Assisted Learning, vol. 35, no. 2, pp. 153-167, 2019.
26. L. S. Post, P. Guo, N. Saab, and W. Admiraal, "Effects of remote labs on cognitive, behavioral, and affective learning outcomes in higher education," Computers & Education, vol. 140, Article no. 103596, 2019.
27. A. R. Rao and R. Dave, "Developing hands-on laboratory exercises for teaching STEM students the internet-of-things, cloud computing and blockchain applications," in 2019 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC), Princeton, NJ, USA, 2019, pp. 191-198.

3.9. Наноосвіта на перехресті: як залучити українську молодь до нанотехнологічних спеціальностей?

Сьогодні нанотехнології стали невід'ємною складовою будь-якої галузі промисловості. Наноматеріали та матеріали, які містять наночастинки широко використовуються в енергетиці [1], електроніці [2], медицині [3] тощо. Ще одним важливим аспектом застосувань досягнень нанонауки є військові технології та технології подвійного призначення [4]. Наноматеріали широко використовуються для створення датчиків, систем спостереження, виявлення та зв'язку [4]. Нанотехнології також можна використовувати для захисту від корозії, а також виробництва легких, міцних і багатофункціональних текстильних матеріалів [5]. Технології подвійного призначення включають, однак не обмежуються застосуваннями нанотехнологій для створення біологічних та хімічних датчиків, електронних девайсів для обчислень, створення конструкційних матеріалів, покриттів, фільтрів [6, 7].

Разом з тим маємо проблему наявності фахівців, здатних виробляти новітні наноматеріали [8]. В Україні наявна серйозна проблема непопулярності відповідних спеціальностей серед абітурієнтів. Ситуація загострилася через війну, яка вже більше року триває на території України [9, 10]. Сьогодні ми маємо значні втрати матеріально-технічної бази університетів, адже багато освітніх та наукових установ постраждали внаслідок бомбардувань [11, 12]. Крім того, тимчасова окупація великої площі України [13] та широка лінія фронту призвели до міграції викладачів та студентів університетів, що має колосальний вплив на академічний потенціал університетів [14, 15]. Багато університетів перейшли до онлайн навчання. 16 університетів були переміщені на підконтрольні Україні території, значна частка з них існує сьогодні лише у віртуальному форматі, реалізуючи концепцію «Університету без стін» [16, 17]. Найближчими роками це приведе до значного розриву між запитом промислового сектору та наявністю відповідних фахівців.

Ми аналізуємо стан підготовки майбутніх наноінженерів до професійної діяльності в Україні, досліджуємо проблему низького попиту відповідних спеціальностей серед абітурієнтів та розмірковуємо над шляхами вирішення наявних викликів та проблем.

Методологія

За методологічну основу дослідження взято аналіз сучасного стану підготовки наноінженерів в Україні. Ми аналізуємо дані Єдиної Державної Електронної Бази з Питань Освіти (https://info.edbo.gov.ua/) для отримання інформації затребуваності спеціальностей та освітніх програм, які готують наноінженерів.

Таким чином, у дослідженні використані такі методи збору даних:

- Документальний аналіз: збір та вивчення документів, що відображають стан підготовки наноінженерів в Україні;
- Аналіз статистичних даних: вивчення офіційних даних про кількість вступниуів та випускників які навчаються за спеціальностями нанотехнологічного спрямування.

Результати

В Україні підготовка наноінженерів здійснюється закладами вищої освіти за спеціальностями:

- «Прикладна фізика та наноматеріали»,
- «Матеріалознавство»,
- «Мікро- та наносистемна техніка».

На рис. 3.22 представлено інформацію про кількість студентів, які були зараховані та випускники за 2020, 2021 та 2022 роки для цих спеціальностей. Аналізуючи дані рисунку, можна зробити деякі висновки.

У 2021 році на спеціальність «Прикладна фізика та наноматеріали» в Україні було зараховано на 29 студентів більше порівняно з 2020 роком. У 2022 році на 17 студентів більше порівняно з 2021 роком. Тобто можемо говорити про позитивну динаміку популярності цієї спеціальності. Разом з тим, випускників у 2021 році було на 111 осіб менше, ніж у 2020 році. У 2022 році кількість випускників зменшилася у порівнянні з 2021 роком ще на 103 особи. Тобто зменшення випускників у 2022 році у порівнянні з 2021 роком склало 28%, а у порівнянні з 2020 роком 43%.

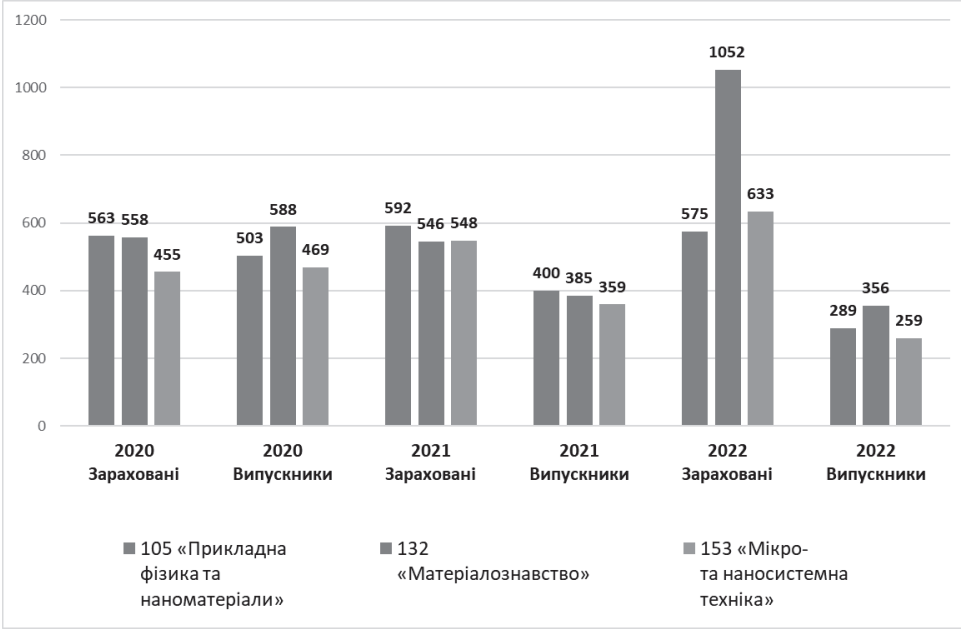

Рисунок 3.22 – Кількісні дані студентів, які були зараховані на нанотехнологічні спеціальності та випускники 2020, 2021, 2022 років

Причину зменшення кількості випускників у 2021 році у порівнянні з 2020 році важко встановити однозначно, спираючись на наявні дані. У 2022 році причина зменшення випускників більш ніж очевидна – це війна [18]. Багато студентів не змогли завершити навчання через вимушену міграцію, перебуванні на окупованих територіях. Значна частка студентів вступили до лав Збройних Сил України щоб боронити незалежність нашої держави.

Дещо інша статистика спостерігається зі спеціальністю «Матеріалознавство». У 2021 році зараховано 546 студентів, що на 12 студентів менше порівняно з 2020 роком. У 2022 році зараховано 1052 студентів, що на 93% більше порівняно з 2021 роком. Це чудовий та обнадійливий результат, адже для відбудови повоєнної України вкрай важливо вже сьогодні готувати фахівців матеріалознавчої галузі. Разом з тим, маєм констатувати, що кількість випускників цієї освітньої програми з кожним роком зменшується, не дивлячись на приріст кількості вступників. У 2021 році зменшення випускників спеціальності «Матеріалознавство» у порівнянні з 2020 роком склало 203 особи. У 2022 році закінчили навчання та отримали дипломи лише 356 випускників цієї програми.

Наостанок, проаналізуємо динаміку вступу та випуску спеціальності «Мікро- та наносистемна техніка». У 2021 році було зараховано 548 студентів, що на 93 студенти більше порівняно з 2020 роком. У 2022 році зараховано 633 студентів, що на 85 студентів більше ніж у 2021 році. Разом з тим, як і з іншими спеціальностями маємо суттєве зменшення випускників цієї спеціальності. Так, у 2021 році кількість випускників спеціальності «Мікро- та наносистемна техніка» зменшилася на 23% у порівнянні з 2020 роком. У 2022 році кількість випускників зменшилася на 28% у порівнянні з 2021 роком та на 45% у порівнянні з 2020 роком.

Цікавим також є спостереження, що у 2020 році серед цих трьох спеціальностей «Прикладна фізика та наноматеріали» була самою популярною серед вступників, тоді як у 2022 році на неї вступила найменша кількість випускників. Натомість більшої популярності набула спеціальність «Матеріалознавство».

Таблиця 3.20 демонструє розподіл випускників спеціальностей «Прикладна фізика та наноматеріали», «Матеріалознавство», «Мікро- та наносистемна техніка» за університетами України у 2021 та 2022 роках. Можемо бачити, що Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна та Київський національний університет імені Тараса Шевченка забезпечують підготовку більш ніж половини всіх фахівців за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали». Лідером підготовки фахівців у галузі «Матеріалознавство» у 2021 році був Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», тоді як у 2022 році за кількістю випускників він поступився Українському державному університету науки і технологій та Національному університету "Запорізька політехніка".

За спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка» утримує свої позицію лідера «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», на другому місці - Національний університет "Львівська політехніка". Разом вони готують 37% фахівців за спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка».

Таблиця 3.20 - Розподіл випускників спеціальностей «Прикладна фізика та наноматеріали», «Матеріалознавство», «Мікро- та наносистемна техніка» за університетами України.

2021	105 Випускники	1	Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна	127
		2	Київський національний університет імені Тараса Шевченка	78
		3	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	33
		4	Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича	32
		5	Львівський національний університет імені Івана Франка	20
2022	105 Випускники	1	Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна	87
		2	Київський національний університет імені Тараса Шевченка	69
		3	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	45
		4	Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича	24
		5	Львівський національний університет імені Івана Франка	9
2021	132 Випускники	1	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	45
		2	Харківський національний автомобільно-дорожній університет	38
		3	Національний університет "Запорізька політехніка"	37
		4	Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"	36
		5	Національна металургійна академія України	29
2022	132 Випускники	1	Український державний університет науки і технологій	45
		2	Національний університет "Запорізька політехніка"	39
		3	Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"	36
		4	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	25
		5	Харківський національний автомобільно-дорожній університет	24
		6	Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"	20
2021	153 Випускники		Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	69
			Львівський національний університет імені Івана Франка	43
			Національний університет "Львівська політехніка"	36
			Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара	25
			Запорізький національний університет	23
2022	153 Випускники		Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»	61
			Національний університет "Львівська політехніка"	35
			Львівський національний університет імені Івана Франка	18
			Запорізький національний університет	12
			Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара	9

У таблиці 3.21 містяться дані щодо зарахованих у 2022 році на навчання вступників на спеціальностей Прикладна фізика та наноматеріали», «Матеріалознавство», «Мікро- та наносистемна техніка» за областями України.

Таблиця 3.21 - Розподіл вступників зарахованих у 2022 році на навчання на спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали», «Матеріалознавство», «Мікро- та наносистемна техніка» за областями України

Область	«Прикладна фізика та наноматеріали»	«Матеріалознавство»	«Мікро- та наносистемна техніка»
1. Автономна республіка Крим	-	-	-
2. Вінницька область	-	21	16
3. Волинська область	32	72	24
4. Дніпропетровська область	-	363	62
5. Донецька область	-	-	-
6. Житомирська область	-	-	-
7. Закарпатська область	15	-	14
8. Запорізька область	11	217	59
9. Івано-Франківська область	19	3	-
10. Київська область	-	-	-
10.1 Київ	155	101	151
11. Кіровоградська область	-	3	-
12. Луганська область	-	-	-
13. Львівська область	43	14	154
14. Миколаївська область	-	15	-
15. Одеська область	4	1	-
16. Полтавська область	-	-	-
17. Рівненська область	-	-	-
18. Сумська область	-	48	28
19. Тернопільська область	-	-	14
20. Харківська область	224	121	96
21. Херсонська область	-	-	-
22. Хмельницька область	-	73	-
23. Черкаська область	16	-	-
24. Чернівецька область	54	-	14
25. Чернігівська область	2	-	-

Можемо бачити, що найбільша кількість вступників за спеціальністю «Прикладна фізика та наноматеріали» у 2022 році у Харківській області, на другому місці за популярністю є м. Київ. Загалом, до Харкова та Києва вступили у 2022 році 66% від загальної кількості вступників на цю спеціальність.

Популярність Харківських університетів серед вступників завжди була обумовлена наявністю потужних університетів та наукових установ. Однак цього року очікувалося значне зменшення бажаючих вступити до харківських університетів. Це побоювання були обумовлені тим, що Харківська область є фронтовою та прифронтовою територіями, а сам Харків протягом багатьох місяців найбільше потерпав від ракетних атак. Тим не менш, це не завадило Харківським університетам зробити солідний набір на спеціальність «Прикладна фізика та наноматеріали».

Лідером набору у 2022 році на спеціальність «Матеріалознавство» є Дніпропетровська область, в університети якої вступили 35% всіх вступників на цю спеціальність. Крім того, популярністю також користувалися університети Запорізької, Київської та Харківської областей, які забезпечили разом ще 47% вступників.

Майже однакова кількість вступників спеціальності «Мікро- та наносистемна техніка» вибрали Львівські та Київські університети (154 і 151 відповідно). Загалом у ці дві області вступили 48% абітурієнтів від загальної кількості.

Не здійснюють підготовку за цими спеціальностями «Прикладна фізика та наноматеріали», «Матеріалознавство», «Мікро- та наносистемна техніка» університети Автономної республіки Крим, Донецької, Житомирської, Луганської, Полтавської, Рівненської та Херсонської областей. При цьому важливо зазначити, що Донецька і Луганська області характеризуються розвинутою промисловістю, що є передумовою для відкриття відповідних спеціальностей. В цих областях не здійснюється підготовка відповідних кадрів, як і в Автономній республіці Крим, так як всі університети Донецька і Луганська у 2014 році були переміщені через тимчасову окупацію цих територій. У 2022 році деякі з цих університетів були вимушені здійснювати релокацію вдруге [19, 20].

На рисунку 3.23 наведено розподіл вступників на спеціальність «Прикладна фізика та наноматеріали» у 2020, 2021 та 2022 роках. Можемо бачити, що найбільша частка належить Харківській та Київській областям. Це обумовлено тим, що саме в Києві і Харкові сконцентровано найбільша кількість університетів України.

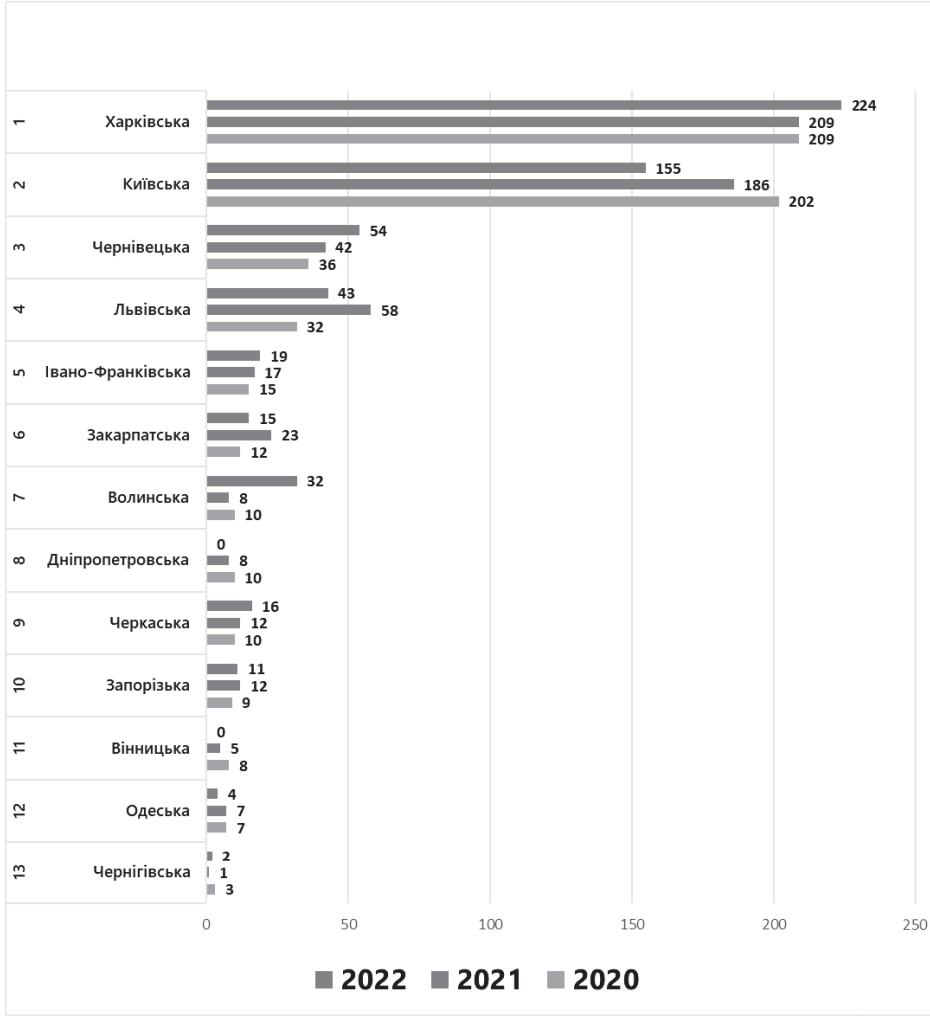

Рисунок 3.23 – Розподіл вступників на спеціальність «Прикладна фізика та наноматеріали» у 2020, 2021 та 2023 роках за областями України

Разом з тим, найбільш промисловими в Україні є Дніпропетровська та Запорізька області. Маємо суперечність між розподілом вступників на спеціальність «Прикладна фізика та наноматеріали» та потребами промисловості по областях.

Загалом, можемо констатувати, що попит на спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали», «Матеріалознавство», «Мікро- та наносистемна техніка» є вкрай низьким. Для порівняння наведемо ТОП-5 спеціальностей за кількістю поданих заяв:

- Право – 44 192;
- Комп'ютерні науки – 41 508;
- Філологія – 36 596;
- Менеджмент – 35 053;
- Психологія – 34 066.

Можемо бачити, що розрив є колосальним. Топові спеціальності демонструють кількість вступників у сотні разів більше, ніж спеціальності нанотехнологічного спрямування.

Нанотехнологія, як одна з високотехнологічних галузь, має високу додану вартість у процесі свого розвитку та застосування. Маркетологами світу зазначається, що це може не тільки принести великі економічні вигоди, але й підвищити продуктивність праці та досягти кращих соціальних ефектів. У дослідженні механізму функціонування індустріалізації нанотехнологій сполучну роль відіграє механізм трансформації нанотехнологічної галузі у критичні технології та подвійного призначення. При цьому уряди країн зазначають, що первинну роль у процесі трансформації відіграють університети та підприємства. Держава формує відповідну політику для заохочення трансформації досягнень нанотехнологій в університетах та активно трансформує традиційні галузі. Наші результати маркетингових досліджень свідчать, що сьогодні зареєстровано 55 типів наноструктур, на основі яких створено 10355 продуктів (за офіційною статистикою StatNano). Сьогодні 3387 компаній світу зареєстрували товари, що містять наночастинки чи наноструктуровані матеріали. Розподіл застосувань у критичних технологіях та технологіях подвійного призначення наразі такий. В галузі електроніки створено 1944 нових продуктів на основі нанотехнологій (серед них лазери – 273 новітніх продукти, прилади нічного бачення, тепловізори, дрони тощо). У галузі відновлювальної енергетики створено 395 нових функціональних матеріалів, що забезпечують виготовлення портативних сонячних батарей, модулів, суперконденсаторів для військової техніки, та інших типів батарей. У технології нафтопереробки залучено більш ніж 300 продуктів нанотехнологій, до цього долучилися 135 компаній з 30 країн світу. Активно розробляються текстильні матеріали для спорядження військових (створено 866 нових продуктів). Маркетинговий аналіз показує, що більший економічний ефект від впровадження нанотехнологій у промисловість демонструють країни (США,

Китай, Франція), де наявна більша частка університів та наукових інститутів, які здійснюють підготовку наноінженерів і проводять відповідні наукові дослідження (https://drive.google.com/file/d/180metBMY9EmiYI8agYw0cZk2zn_h-_6j/view).
Найбільше впровадження нанотехнологій у воєнний сектор демонструє Іран. Кількість дослідницьких інститутів і промисловості нелінійно корельована з валовим внутрішнім продуктом країни на душу населення: Європейській Союз - 9600 $, Північна Америка - 1430$, США - 81$ відповідно). Розподіл по європейським країнам на сьогоднішній день такий: Німеччина - 311$, Великобританія - 383$, Франція - 576$, Іспанія - 1111$ і Швейцарія 2269$. Сьогодні аналіз цієї галузі в Україні немає сенсу, адже ми знаходимося в активній фазі війни, що характеризується знищенням цивільної, воєнної, промислової, наукової інфраструктури країни.

Сьогодні важливо розуміти недопустимість втрати високотехнологічних спеціальностей в Україні, зокрема спеціальностей нанотехнологічного призначення.

Непопулярність спеціальностей нанотехнологічної галузі серед абітурієнтів може бути зумовлена декількома причинами:

- Складність галузі: нанотехнологічні спеціальності можуть бути сприйняті як важкі та складні для вивчення, що може заспокоїти абітурієнтів, які шукають легше навчання та менш вимогливі професії;
- Конкуренція з іншими спеціальностями: спеціальності, які вважаються більш традиційними та відомими, такі як право, комп'ютерні науки або менеджмент, можуть привертати більше уваги абітурієнтів через їх широке застосування та можливості працевлаштування;
- Нерозуміння подальших професійних перспектив: відсутність розуміння ринку праці нанотехнологій та матеріалознавства може змусити абітурієнтів вибирати інші спеціальності з більшими можливостями зайнятості;
- Низька видимість галузі: нанотехнологічні спеціальності можуть не мати достатньої видимості в ЗМІ, порівняно з іншими професіями, що може призводити до неповної уяви абітурієнтів про можливості, які ці спеціальності пропонують;

- географічні обмеження: Оскільки основні університети, що пропонують нанотехнологічні спеціальності, знаходяться у Київській, Львівській та Харківських областях , абітурієнти з інших регіонів можуть відчувати бар'єри для вступу на такі спеціальності через віддаленість, високі витрати на проживання та інші фактори.

Для підвищення попиту на спеціальності з нанотехнологій та матеріалознавства необхідно запроваджувати програми підтримки цих спеціальностей та проводити потужну агітаційну та популяризаторську компанію.

У цьому аспекті можуть бути запропоновані такі заходи для майбутніх абітурієнтів:

- Проведення інформаційних кампаній, які розповідають про переваги навчання на цих спеціальностях, професійні перспектив и та можливості працевлаштування після закінчення навчання;
- Організація відкритих днів, майстер-класів та науково-практичних конференцій для школярів та абітурієнтів, що дасть їм можливість краще ознайомитися зі спеціальностями та побачити реальні застосування здобутих знань у практиці;
- Залучення випускників цих спеціальностей до роботи з абітурієнтами, шляхом проведення презентацій, лекцій та інших заходів, які допоможуть абітурієнтам краще зрозуміти переваги спеціальностей;
- Розробка та впровадження спеціалізованих програм для шкіл, які допоможуть школярам заздалегідь ознайомитися з основами нанотехнологій та матеріалознавства, що може сприяти підвищенню інтересу до цих спеціальностей;
- Створення відеоматеріалів, презентацій та статей про успішних випускників цих спеціальностей, які досягли успіху в своїй сфері, що може стати мотивацією для абітурієнтів.

В результаті аналізу було виявлено декілька ключових факторів, які впливають на вибір абітурієнтів.

- Виявлено суперечність між розподілом вступників на спеціальності, пов'язані з нанотехнологіями, та потребами промисловості в різних регіонах України.
- Нанотехнологічні спеціальності мають низьку популярність серед абітурієнтів порівняно з іншими галузями, такими як право, комп'ютерні науки, філологія, менеджмент та психологія.
- До причин непопулярності спеціальностей з нанотехнологій належать: недостатній рівень інформації, складність галузі, обмежені можливості працевлаштування, географічні обмеження та низька видимість галузі.

Рекомендації щодо покращення ситуації з привабливістю нанотехнологічних спеціальностей включають: популяризацію галузі, підтримку стипендій та грантів, розвиток спільних програм підготовки з університетами та промисловими підприємствами та підвищення видимості галузі у ЗМІ. Розробка нових програм навчання, забезпечення відповідної інфраструктури та інноваційних методів навчання можуть підвищити інтерес абітурієнтів до галузі нанотехнологій.
Також важливо забезпечити адекватні кар'єрні перспективи та можливості працевлаштування для випускників нанотехнологічних спеціальностей. Залучення студентів до науково-дослідних проектів, стажувань на промислових підприємствах та сприяння розвитку мережі військово-промислових партнерів можуть стимулювати зростання попиту на нанотехнологічні спеціальності.
Враховуючи регіональні розбіжності у розподілі абітурієнтів та потреб промисловості, слід розглянути можливість розвитку регіональних освітніх програм та стимулювання переходу студентів з регіонів, де відсутні потреби в нанотехнологах, до регіонів, де вони наявні.

У подальшому дослідженні слід зосередитись на конкретних напрямках розвитку нанотехнологічної галузі в Україні, а також вивченні міжнародного досвіду з підготовки наноінженерів та інтеграції у військово-промисловий комплекс.

Література

1. Y. Suchikova, “Provision of environmental safety through the use of porous semiconductors for solar energy sector,” Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016, 6(5), pp. 26–33.
2. S. Vambol et al., "Correlation between Technological Factors of Synthesis of por-GaP and Its Acquired Properties," Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii, vol. 16, no. 4, Dec. 2018.
3. T. Sahu, Y. K. Ratre, S. Chauhan, L. V. K. S. Bhaskar, M. P. Nair, and H. K. Verma, "Nanotechnology based drug delivery system: Current strategies and emerging therapeutic potential for medical science," J. Drug Del. Sci. Technol., vol. 63, p. 102487, Jun. 2021.
4. M. S. Chavali and M. P. Nikolova, "Metal oxide nanoparticles and their applications in nanotechnology," SN Appl. Sci., vol. 1, no. 6, May 2019.
5. A. K. M. A. Hosne Asif and M. Z. Hasan, "Application of Nanotechnology in Modern Textiles: A Review," Int. J. Current Eng. Technol., vol. 8, no. 02, Jan. 2018.
6. S. Yana, "Porous Indium Phosphide: Preparation and Properties," in Handbook of Nanoelectrochemistry. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 283–305.
7. S. O. Vambol et al., "Formation of Filamentary Structures of Oxide on the Surface of Monocrystalline Gallium Arsenide," J. Nano- Electron. Phys., vol. 9, no. 6, pp. 06016–1–06016–4, 2017.
8. J. Light Feather and M. F. Aznar, Nanoscience Education, Workforce Training, and K-12 Resources. CRC Press, 2018.
9. Y. Suchikova, "A year of war," Science, vol. 379, no. 6634, pp. 850, February 24, 2023.
10. Y. Moroz, "Here in Ukraine, science continues under air raids," Nature, vol. 605, no. 7911, p. 590, May 2022.
11. A. Kurapov, V. Pavlenko, A. Drozdov, V. Bezliudna, A. Reznik, and R. Isralowitz, "Toward an Understanding of the Russian-Ukrainian War Impact on University Students and Personnel," J. Loss Trauma, pp. 1–8, Jun. 2022.
12. M. McNutt and J. Hildebrand, "Scientists in the line of fire," Science, vol. 375, no. 6585, p. 1071, Mar. 2022.
13. Y. Suchikova, N. Tsybuliak, H. Lopatina, A. Popova, S. Kovachov, O. Hurenko and I. Bogdanov, "Is Science Possible Under Occupation? Reflection and Coping Strategy," Corporate Governance and Organizational Behavior Review, vol. 7, no. 2, 2023.
14. Y. Polishchuk, I. Lyman and S. Chugaievska, "The ‘Ukrainian Science Diaspora’ Initiative in the Wartime," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, no. 2-si, pp. 153-161, 2023
15. B. Aydin et al., "O-315 A war in Europe?: Ukrainian scientists' struggle for life and future, relocation and securing of frozen biomaterials," Human Reprod., vol. 37, Supplement_1, Jun. 2022.
16. Y. Suchikova and N. Tsybuliak, "Universities without walls: global trend v. Ukraine’s reality," Nature, vol. 614, pp. 413, February 14, 2023.
17. H. Lopatina, N. Tsybuliak, A. Popova, I. Bohdanov, and Y. Suchikova, "University without Walls: Experience of Berdyansk State Pedagogical University during the war," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, Special Issue, 2023.
18. Y. Suchikova, N. Tsybuliak, H. Lopatina, L. Shevchenko, and A. I. Popov, "Science in times of crisis. How does the war affect the performance of Ukrainian scientists?," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, no. 1, pp. 408-424, 2023.
19. O. Porkuian, O. Tselishchev, R. Halhash, Y. Ivchenko and O. Khandii, "Twice Displaced, but Unconquered: The Experience of Reviving a Ukrainian University During the War," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, no. 2-si, pp. 98-105, 2023
20. O. Zakharova and L. Prodanova, "A university displaced twice: Irreversible and erroneous losses of human capital," Problems and Perspectives in Management, vol. 21, no. 2-si, pp. 123-132, 2023

Наукове видання

Яна Сичікова, Ігор Богданов, Сергій Ковачов

Теоретичні та методологічні засади підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства для продуктивної професійної діяльності

Редактор Яна Сичікова
Дизайнер Сергій Ковачов

Підписано до друку 09.09.2023 р.
Формат 70x100/16. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 16,73
Наклад 300 прим.

ФОП Самченко Анастасія Михайлівна
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК №7906 від 03.08.2023 р.
Тел. (093) 860-62-21.