

УДК 378.147: 372.853

DOI 10.31494/2412-9208-2022-1-3-237-248

PROFESSIONAL COMPETENCE OF A SPECIALIST IN THE FIELD OF NANOMATERIAL SCIENCE TO CREATE INNOVATIVE NANOSTRUCTURES ON THE SURFACE OF SEMICONDUCTORS

ПРОФЕСІЙНА КОМПЕТЕНТНІСТЬ ФАХІВЦЯ В ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ЗІ СТВОРЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ НАНОСТРУКТУР НА ПОВЕРХНІ НАПІВПРОВІДНИКІВ

Iryna BARDUS,

Doctor of Pedagogical Sciences,
Professor

irina.bardus@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8682-7791>

Ірина БАРДУС,

доктор педагогічних наук,
професор

Sergiy KOVACHOV,

Researcher

essfero@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0212-1255>

Сергій КОВАЧОВ,

науковий співробітник

Ihor BOHDANOV,

Doctor of Pedagogical Sciences,
Professor

BohdanovBDPU@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3035-7989>

Ігор БОГДАНОВ,

доктор педагогічних наук,
професор

Yana SUCHIKOVA,

Doctor of Technical Sciences,
Professor

yanasuchikova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4537-966X>

Яна СИЧІКОВА,

доктор технічних наук, професор

*Berdiansk State Pedagogical
University,*

✉ 4, Schmidt st., Berdiansk,
Zaporizhzhia region, 71100, Ukraine

*Бердянський державний
педагогічний університет,*

✉ вул. Шмідта, 4, м. Бердянськ,
Запорізька обл., 71100, Україна

Original manuscript received: October 13, 2022

Revised manuscript accepted: November 17, 2022

ABSTRACT

The article is devoted to the urgent problem of improving the quality of professional training of future specialists in the field of nanomaterial science for productive activities, namely, the definition of the system of his professional competence in the creation of nanostructures on the surface of semiconductors. The article, based on the structure of the production process for the synthesis of innovative nanostructures on the surface of a semiconductor, defines the qualification requirements for a specialist in the field of nanomaterial science. It was established that a specialist in the field of nanomaterial science must possess design, technological, operational, research, organizational and management competencies. Design competence involves the modeling of a new nanostructure on the surface of a semiconductor to acquire the desired functional properties,

237

ICV 2021: 85.25

DOI 10.31494/2412-9208-2022-1-3

the selection of optimal technological solutions for the synthesis of these nanostructures, and the development of experimental methods in accordance with the chosen technology. Technological competence ensures the effectiveness of professional activity in the synthesis of a new nanostructure on the surface of a semiconductor based on the chosen technology. Organizational and managerial competence allows a specialist to carry out technical training, control, and regulation of the process of synthesis of nanostructures on the surface of a semiconductor with a given quality. The formed scientific and research competence allows to carry out a scientific search for the morphological properties of the nanomaterial structure in order to give it the necessary functional properties, to develop new technologies and appropriate equipment for the synthesis of nanostructures on the surface of a semiconductor. The article also describes the structure and content of design, technological, research and organizational and management competencies of specialists in the field of nanomaterial science, which are the basis for the development of a fundamentalized system of their training in institutions of higher education.

Key words: nanotechnology, professional competence, production process, system approach, specialist in the field of nanomaterial science, productive activity, synthesis of nanomaterials.

Вступ. Подальший розвиток національної безпеки та оборони України вимагає від системи вищої освіти підготовки компетентних фахівців у галузі наноматеріалознавства (наноінженерів), здатних творчо застосовувати на практиці новітні досягнення сучасної науки та створювати інноваційні зразки наноматеріалів і нанотехнологій. 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 наноінженера зі створення інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників, яку вона буде формувати в майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

В Україні підготовка наноінженерів здійснюється закладами вищої освіти за спеціальностями: 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» [8], 132 «Матеріалознавство» [9; 10], 153 «Мікро- та наносистемна техніка» [11; 12], для яких 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 у цих документах перелік професійних компетентностей і програмних результатів навчання не в повній мірі відповідає системі професійної продуктивної діяльності наноінженера, а також недостатньо враховує наявні 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].

Метою статті є визначення узагальненої системи професійних компетентностей фахівця в галузі наноматеріалознавства зі створення інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників, формування яких має забезпечити методична система фундаменталізованої професійної підготовки цих фахівців.

Методи та методики дослідження. 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 в 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].

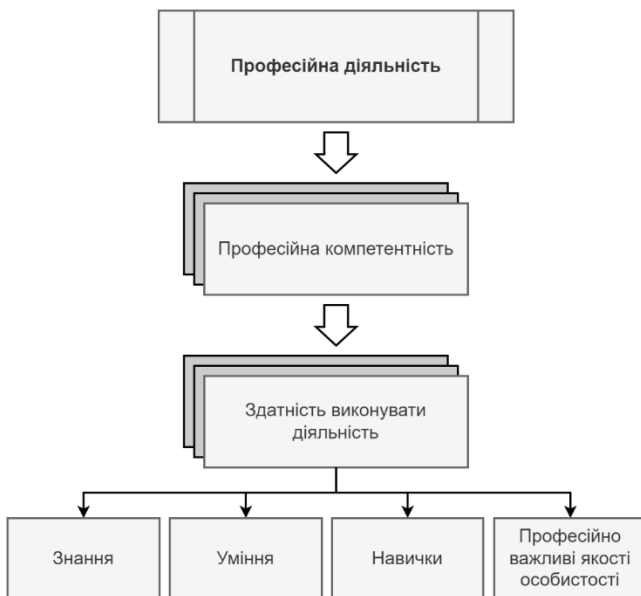


Рис. 1. Структурно-логічна схема визначення змісту професійної компетентності фахівця

На рис. 1 наведено структурно-логічну схему, за якою нами буде визначено зміст професійної компетентності фахівця в галузі наноматеріалознавства.

Результати та дискусії. 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 в галузі наноматеріалознавства необхідно володіти проектною, технологічною, експлуатаційною (із застосування створених наноматеріалів), науково-дослідною, організаційно-управлінською компетентностями (за класифікацією професійних компетентностей Н. Брюханової [4]), які є складовими його професійної компетентності.

Оскільки професійна компетентність фахівця формується під час його навчання в закладі вищої освіти, рівень її сформованості є показником якості професійної підготовки. Зважаючи на це, нами визначено ті складові професійної компетентності фахівця в 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 в 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 наведено структуру та зміст проектної компетентності фахівця в галузі наноматеріалознавства.

Таблиця 1

**Структура та зміст проектної компетентності фахівця
у галузі наноматеріалознавства**

Професійна діяльність	Фахові професійні компетентності
Моделювання нової наноструктури на поверхні напівпровідника для	Здатність виявляти та ставити проблеми в сфері наноматеріалознавства, приймати ефективні рішення для їх вирішення [10].

набуття ним бажаних функціональних властивостей	Здатність до критичного аналізу та прогнозування характеристик нових та наявних матеріалів, параметрів процесів їх отримання, обробки та використання у виробках (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 у сфері наноматеріалознавства в лабораторних та виробничих умовах на відповідному рівні з використанням сучасних методів і методик експерименту [10].

Проектна компетентність (а також технологічна, організаційно-управлінська та науково-дослідна) фахівця в 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].

Для ефективного виконання проектної діяльності фахівець у галузі наноматеріалознавства повинен уміти [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 2 наведено структуру та зміст технологічної компетентності фахівця в галузі наноматеріалознавства.

Таблиця 2

Структура та зміст технологічної компетентності фахівця в галузі наноматеріалознавства

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

Сформована технологічна професійна компетентність вимагає від фахівця в галузі наноматеріалознавства вміти: проводити реальні експерименти та будувати математичні і фізичні моделі для перевірки гіпотез та дослідження явищ і їх фізичних законів; користуватися стандартним та спеціальним обладнанням для здійснення професійної діяльності та проведення експериментів; планувати, складати схеми та проводити експеримент, збір та аналіз даних, включаючи уважний аналіз помилок та критичне оцінювання отриманих результатів; отримати результат в рамках обмеженого часу з наголосом на професійну сумлінність та унеможливлення плагіату; виконувати вимірювання фізичних величин для дослідження шляхом планування та здійснення експериментів, аналізувати отримані результати в контексті чинних 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 3 наведено структуру та зміст організаційно-управлінської компетентності фахівця в галузі наноматеріалознавства.

Таблиця 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 організувати 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 в галузі наноматеріалознавства передбачає володіння такими знаннями, уміннями та навичками: 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 в 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 4 наведено структуру та зміст науково-дослідної компетентності фахівця в галузі наноматеріалознавства.

Таблиця 4

Структура та зміст науково-дослідної компетентності фахівця в 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 формувати 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 в галузі наноматеріалознавства передбачає володіння такими знаннями, уміннями та навичками: 1. Розуміти та застосовувати принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями в контексті наявних 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 глобалізаційних 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 проєктна, технологічна, організаційно-управлінська та науково-дослідна компетентності є фаховими компетентностями фахівця в галузі наноматеріалознавства, які виражаються як здатність виконувати відповідну діяльність.

Нами навмисно під час визначення структури проєктної, 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 в галузі наноматеріалознавства.

Справа в тому, що проєктна, 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 в галузі наноматеріалознавства, які можна розвивати під час його фундаментальної підготовки в 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 – випереджального відображення майбутнього; частина пізнавальної діяльності фахівця в галузі наноматеріалознавства, спрямована на визначення тенденцій динаміки конкретного об'єкта або події на основі аналізу його стану в минулому і сьогодні. 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 й

аргументувати вибір подальшого руху. 8. Ерудиція – здатність фахівця проявляти пізнавальну активність.

До *організаційно-діяльнісних* професійно важливих якостей фахівця в 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.

Висновки. 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 проєктної, технологічної, організаційно-управлінської та науково-дослідної компетентностей буде нами використаний для подальшого розроблення методичної системи підготовки цих фахівців на засадах фундаменталізації та дуалізації освіти.

Подальші дослідження ми пов'язуємо із розробкою цілей та змісту фундаменталізованої професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства в закладах вищої освіти.

Подяка. Дослідження проведено завдяки підтримці Міністерства освіти на науки України, а саме реалізації держбюджетних наукових проєктів: № 0122U000129 «Пошук оптимальних умов синтезу наноструктур на поверхні напівпровідників A3B5, A2B6 і кремнію для фотоніки і сонячної енергетики», № 0121U109426 «Теоретико-методичні засади системної фундаменталізації підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної професійної діяльності».

Також Я. Сичікова висловлює подяку Goethe-Institut за підтримку за програмою екстрених стипендій для випускників програм «House of Europe».

Ми також дякуємо Збройним Силам України за забезпечення безпеки для виконання цієї роботи. Ця робота стала можливою лише завдяки стійкості та мужності Української Армії.

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. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392-20?find=1&text=%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD#Text> (Дата звернення: 10.10.2022).

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. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/standarty/2020/06/17/105-Prykladna.fiz.nanomater.bakalavr-1.pdf>. (Дата звернення: 10.10.2022).

9. Стандарт вищої освіти зі спеціальності 132 «Матеріалознавство» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. 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. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2020/11/17/132-materialoznnavstvo-mahistr.pdf>. (Дата звернення: 10.10.2022).

11. Стандарт вищої освіти зі спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» для першого (бакалаврського) рівня вищої освіти. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/05/28/153-Mikro.ta.nanosys.tekhn.bakalavr-10.12.pdf>. (Дата звернення: 10.10.2022).

12. Стандарт вищої освіти зі спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» для другого (магістерського) рівня вищої освіти. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2020/11/23/153-mikro-ta-nanosystemna-tekhnika-mahistr.pdf>. (Дата звернення: 10.10.2022).

13. Master of Nanoscience, Nanotechnology and Nanoengineering (KU Leuven). 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).

References

1. Bardus, I. (2018). *Fundamentalizatsiya profesiynoyi pidhotovky maybutnikh fakhivtsiv u haluzi informatsiynikh tekhnolohiy do produktyvnoyi diyal'nosti: monografiya* [Fundamentalization of professional training of future specialists in the field of information technologies to productive activity]. Kharkiv: PromArt [in Ukrainian].

2. Bardus, I. O., Kovachov, S. O., Bohdanov, I. T., Sychikova, YA. O. (2021). *Profesiyna diyal'nist' fakhivtsya v haluzi nanomaterialoznavstva zi stvorenyya nanostruktur na poverkhnii napivprovodnykiv* [Professional activity of a specialist in the field of nanomaterials science in the creation of nanostructures on the surface of semiconductors]. *Naukovi zapysky Berdyanskoho derzhavnogo pedahohichnogo universytetu. Seriya : Pedahohichni nauky : zbirnyk naukovykh prats' – Scientific notes of the Berdyansk State Pedagogical University. Series: Pedagogical sciences: a collection of scientific papers*, 1, 55–64. [in Ukrainian].

3. Bohdanov, I. T., Sychikova, YA. O., Bardus, I. O. (2021) *Kontseptual'ni zasady pidhotovky maybutnikh fakhivtsiv u haluzi nanomaterialoznavstva do produktyvnoyi profesynoyi diyal'nosti* [Conceptual principles of training future specialists in the field of nanomaterials science for productive professional activity]. *Naukovi zapysky Berdyanskoho derzhavnogo pedahohichnoho universytetu*. Seriya : Pedahohichni nauky : zbirnyk naukovykh prats' – Scientific notes of the Berdyansk State Pedagogical University. Series: Pedagogical sciences: a collection of scientific papers, 2, 168–176. [in Ukrainian].

4. Bryukhanova, N. (2010). *Osnovy pedahohichnoho proektuvannya v inzhenerno-pedahohichnyy osviti: monohrafiya* [Basics of pedagogical design in engineering and pedagogical education]. Kharkiv: UIPA, NTMT. [in Ukrainian].

5. *Zakon Ukrainy «Pro vnesennya zmin do deyakykh zakoniv Ukrainy shchodo vdoskonalennya osviti u sferi vyshchoyi osvity»* [The Law of Ukraine «On Amendments to Certain Laws of Ukraine Regarding the Improvement of Educational Activities in the Field of Higher Education»]. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/392-20?find=1&text=%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%BD#Text> [in Ukrainian].

6. Salov, V. (2003). *Osnovy pedahohiky vyshchoyi shkoly* [Fundamentals of higher school pedagogy]. Dnepropetrovsk : Natsional'nyy hirnychyy universytet. [in Ukrainian].

7. Sychikova, YA. O., Bohdanov, I. T., Bardus, I. O., Kovachov, S. S. (2022) *Formuvannya ta rozvytok kohnitivnykh profesino vazhlyvykh yakostey maybutn'oho nanotekhnoloha v umovakh fundamentalizatsiyi yoho profesynoyi pidhotovky* [Formation and development of professionally important cognitive qualities of the future nanotechnologist in conditions of fundamentalization of his professional training]. *Aktual'ni problemy v sistemii osvity: zahal'noosvitniy zaklad seredn'oyi osvity – douniversytet-s'ka pidhotovka – zaklad vyshchoyi osvity* – Actual problems in the education system: general educational institution of secondary education – pre-university training – institution of higher education, 2, 726-733. [in Ukrainian].

8. *Standart vyshchoyi osvity zi spetsial'nosti 105 «Prykladna fizyka ta nanomaterialy» dlya pershoho (bakalavrs'koho) rivnya vyshchoyi osvity* [Higher education standard for speciality 105 «Applied physics and nanomaterials» for the first (bachelor's) level of higher education]. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vyshcha/standarty/2020/06/17/105-Prykl.fiz.nanomater.bakalavr-1.pdf>. [in Ukrainian].

9. *Standart vyshchoyi osvity zi spetsial'nosti 132 «Materialoznavstvo» dlya pershoho (bakalavrs'koho) rivnya vyshchoyi osvity* [Standard of higher education in speciality 132 «Materials Science» for the first (bachelor's) level of higher education]. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/12/26/132-Materialozn-bakalavr-1.pdf>. [in Ukrainian].

10. *Standart vyshchoyi osvity zi spetsial'nosti 132 «Materialoznavstvo» dlya druhoho (mahisters'koho) rivnya vyshchoyi osvity* [Standard of higher education in speciality 132 «Materials science» for the second (master's) level of higher education]. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2020/11/17/132-materialoznavstvo-mahistr.pdf>. [in Ukrainian].

11. *Standart vyshchoyi osvity zi spetsial'nosti 153 «Mikro- ta nanosystemna tekhnika» dlya pershoho (bakalavrs'koho) rivnya vyshchoyi osvity* [Standard of higher education in speciality 153 «Micro- and nanosystem engineering» for the first (bachelor's) level of higher education]. URL : <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2019/05/28/153-Mikro.ta.nanosys.tekhn.bakalavr-10.12.pdf>. [in Ukrainian].

12. *Standart vyshchoyi osvity zi spetsial'nosti 153 «Mikro- ta nanosystemna tekhnika» dlya druhoho (mahisters'koho) rivnya vyshchoyi osvity* [Higher education standard for speciality 153 «Micro- and nanosystem engineering» for the second (master's) level of higher education]. URL :

<https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2020/11/23/153-mikro-ta-nanosystemna-tekhnika-mahistr.pdf>. [in Ukrainian].

13. *Master of Nanoscience, Nanotechnology and Nanoengineering (KU Leuven)*. 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. [in English].

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена актуальній проблемі підвищення якості професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної діяльності, а саме визначенню системи його професійної компетентності зі створення наноструктур на поверхні напівпровідників. У статті на основі структури виробничого процесу із синтезу інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідника визначено кваліфікаційні вимоги до фахівця в галузі наноматеріалознавства. Встановлено, що фахівцю в галузі наноматеріалознавства необхідно володіти проєктною, технологічною, експлуатаційною, науково-дослідною, організаційно-управлінською компетентностями. Проєктна 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. Технологічна компетентність забезпечує ефективність професійної діяльності із синтезу нової наноструктури на поверхні напівпровідника на основі обраної технології. Організаційно-управлінська компетентність дозволяє фахівцю здійснювати технічну підготовку, контроль та регулювання процесу синтезу наноструктур на поверхні напівпровідника із заданою якістю. Сформована науково-дослідна компетентність дозволяє 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 статті також описано структуру та зміст проєктної, технологічної, науково-дослідної та організаційно-управлінської компетентностей фахівців у галузі наноматеріалознавства, які є основою для розроблення фундаментальної системи їх підготовки в закладах вищої освіти.

Ключові слова: *нанотехнології, професійна компетентність, виробничий процес, системний підхід, фахівець у галузі наноматеріалознавства, продуктивна діяльність, синтез наноматеріалів.*