МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Бердянський державний педагогічний університет

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОВАЧОВ СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 378.147:620.3(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

011 Освітні, педагогічні науки
01 Освіта/Педагогіка

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

С.С. Ковачов

Науковий керівник: Кривильова Олена Анатоліївна, доктор педагогічних наук, доцент

Запоріжжя - 2026

АНОТАЦІЯ

Ковачов С.С. Формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 01 Освіта / Педагогіка за спеціальністю 011 Освітні, педагогічні науки. – Бердянський державний педагогічний університет, Міністерство освіти і науки України, Запоріжжя, 2026.

Зміст анотації

У дисертації

Вперше: теоретично обґрунтовано, розроблено та експериментально перевірено ефективність структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, що включає цільовий, методологічний, змістово-процесуальний та діагностично-оцінювальний блоки; забезпечує результат, яким є сформована готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства; передбачає поетапне запровадження оновленого змісту, форм організації освітнього процесу, методів і засобів навчання; реалізується завдяки створенню педагогічних умов (забезпечення розподіленого характеру формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства шляхом поетапної інтеграції принципів етичної відповідальності в освітній процес, модернізація змісту фахових дисциплін підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності через імплементацію модулів курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», адаптація навчально-методичних матеріалів курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» до поліформатних умов підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, упровадження сценарно-орієнтованого оцінювання

сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, реалізація фасилітативного супроводу освітньої діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, підтримка рефлексивно-імерсивного освітнього середовища у процесі професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства); розроблено, психометрично верифіковано та апробовано сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства з урахуванням вимог етичної відповідальності, побудований на аналізі професійно релевантних етичних дилем та інтеграції педагогічних і психометричних підходів.

уточнено поняття «готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства» і «формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства», тлумачення яких орієнтоване на предмет дослідження;

удосконалено зміст професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства шляхом включення до нього сценарно-орієнтованих завдань, рефлексивних форм навчальної діяльності та міждисциплінарних етичних кейсів, що сприяють формуванню відповідального ставлення до наукових рішень, інновацій та їх соціальних, екологічних і технологічних наслідків;

подальшого розвитку набули ідеї професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на основі системного, компетентнісного, міждисциплінарного, ціннісно-орієнтованого, рефлексивного та сценарного підходів; наукові уявлення про педагогічні механізми інтеграції етики, сталого розвитку та відповідальних інновацій у підготовку фахівців для високотехнологічних галузей, з акцентом на формування етичної зрілості та відповідальності в умовах невизначеності та множинності допустимих рішень.

Формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства визначено як процес цілеспрямованого

педагогічного впливу на розвиток у здобувачів вищої освіти професійно значущих знань, умінь, ціннісних орієнтацій, рефлексивних здатностей і відповідального ставлення до майбутньої діяльності, завдяки якому забезпечується їхня здатність ефективно діяти у сфері наноматеріалознавства, враховувати міждисциплінарний характер професійних завдань, ризики та наслідки застосування нанотехнологій і приймати обґрунтовані професійні рішення.

Готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства трактується як інтегрована характеристика, що охоплює когнітивний, практико-операційний і мотиваційно-ціннісний виміри та виявляється у здатності здійснювати дослідження, проєктування, розроблення й застосування наноматеріалів на основі спеціалізованих наукових знань, володіння сучасними методами наноматеріалознавства та усвідомлення відповідальності за можливі наслідки професійної діяльності. Вона передбачає здатність оцінювати безпекові, екологічні, соціальні й етичні ризики нанотехнологій, приймати обґрунтовані рішення в умовах невизначеності та забезпечувати відповідальне використання результатів науково-технологічної діяльності.

Визначено структурні компоненти готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства: *когнітивний компонент* передбачає знання, розуміння та аналітичне осмислення етичних, соціальних і безпекових аспектів науково-дослідної та інноваційної діяльності, зокрема розпізнавання екологічних ризиків, аналіз соціальних наслідків інновацій, розуміння принципів відкритої науки, ідентифікація ризиків подвійного використання результатів досліджень, аналіз інтересів і потреб різних стейкхолдерів; *практико-операційний компонент* охоплює вміння приймати рішення та реалізовувати відповідні дії в ситуаціях, пов’язаних із відповідальними дослідженнями та інноваціями, а саме вибір запобіжних дій щодо мінімізації екологічних ризиків, вибір відповідальних способів упровадження інновацій, вибір способів оприлюднення або обмеження

доступу до наукових даних, вибір обмежувальних чи захисних заходів для запобігання небажаному використанню результатів досліджень, застосування інклюзивних процедур залучення зацікавлених сторін до процесу прийняття рішень; *мотиваційно-ціннісний компонент* відображає систему цінностей, установок і мотивів, що визначають відповідальну професійну поведінку, зокрема орієнтацію на принципи сталого розвитку та екологічної відповідальності, усвідомлення й прийняття відповідальності за наслідки інноваційних рішень, дотримання принципів наукової доброчесності та підтримання довіри до науки, пріоритет безпеки, запобігання шкоді та відповідального використання наукових результатів, орієнтацію на справедливий розподіл ризиків і користі між усіма зацікавленими сторонами.

Відповідно до визначених компонентів готовності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності встановлено критерії та показники її сформованості. Оцінювання когнітивного компонента здійснюється за здатністю здобувачів освіти ідентифікувати етичні аспекти професійних ситуацій, аналізувати їх та здійснювати системне й структуроване етичне міркування. Сформованість практико-операційного компонента визначається здатністю до багатовимірної аргументації, прогнозування потенційних і віддалених наслідків професійних рішень, а також прийняття обґрунтованих рішень в умовах невизначеності. Рівень сформованості мотиваційно-ціннісного компонента характеризується усвідомленням меж професійної відповідальності, орієнтацією на етичні цінності та готовністю діяти відповідально щодо суспільства, довкілля й професійної спільноти.

Теоретично обґрунтовано та розроблено структурно-функціональну модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства яка складається із взаємопов’язаних і взаємозалежних блоків: цільового, методологічного, змістово-процесуального та діагностично-оцінювального блоків. Зміст цільового блоку структурно-функціональної моделі містить мету, яка полягає у формуванні готовності до

професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Методологічний блок відображає підходи та принципи формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства: системний, ціннісно-орієнтований, компетентнісний, міждисциплінарний, рефлексивний і сценарний. Змістово-процесуальний містить форми організації освітнього процесу, методи та засоби навчання, а також розроблений навчальний курс «Етика в нанонауці та нанотехнологіях». Діагностично-оцінювальний блок забезпечує перевірку динаміки сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства за визначеними критеріями та показниками.

Структурно-функціональну модель формування готовності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності реалізовано в межах трьох взаємопов'язаних етапів (початкового, основного та завершального) шляхом цілеспрямованого впровадження комплексу педагогічних умов, що забезпечували досягнення визначених освітніх результатів.

Розроблено та обґрунтовано навчально-методичне забезпечення формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на засадах етичної відповідальності. Удосконалено зміст фахової підготовки шляхом інтеграції етичного, безпекового, екологічного та соціального контекстів. Розроблено курс «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», побудований на сценарному підході та реалізований у рефлексивно-імерсивному освітньому середовищі, що забезпечує залучення здобувачів освіти до аналізу професійно релевантних етичних дилем, аргументації професійного вибору та осмислення відповідальності за наслідки ухвалених рішень. Навчально-методичне забезпечення курсу охоплює сценарні завдання, презентаційні та відеоматеріали, інфографіку, ментальні карти, чек-листи, гайди й інші дидактичні засоби, придатні для використання як у межах окремого курсу, так і в інтегрованому форматі у структурі фахових дисциплін. Розроблено сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання

сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, що дає змогу відстежувати динаміку відповідних показників у процесі професійної підготовки.

Експериментальна перевірка ефективності розробленої моделі здійснювалася в умовах реального освітнього процесу здобувачів другого рівня вищої освіти, що навчаються за спеціальностями 105 Прикладна фізика та наноматеріали, 132 Матеріалознавство, 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, 208 Агроінженерія, 101 Екологія. Результати дослідження засвідчили позитивну динаміку у сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, істотне скорочення частки здобувачів із початковим рівнем прояву готовності до професійної діяльності (з 28,9 % до 5,0 %) та одночасне збільшення частки здобувачів із просунутим рівнем (з 14,6 % до 49,3 %). Отримані дані підтверджено використанням методів математичної статистики.

Практичне значення одержаних результатів дослідження полягає в розробленні та впровадженні у процес професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства навчального курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», який ґрунтується на сценарному підході, а також сценарно-орієнтованого інструментарію оцінювання рівня сформованості їхньої готовності до професійної діяльності, що базується на аналізі професійно релевантних етичних дилем.

Ключові слова: готовність до професійної діяльності, дистанційне навчання, етична відповідальність, майбутні фахівці, наноматеріалознавство, міждисциплінарність, освіта в галузі сталого розвитку, професійна компетентність, професійна освіта, професійна підготовка, самоосвіта, самостійна робота, ситуаційне завдання, сценарно-орієнтоване навчання, студенти-інженери.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у закордонних виданнях, що індексуються у БД Scopus:

1. Suchikova, Y., Kovachov, S., Kryvylova, O. et al. Developing Ethical Responsibility in Future Nanoscience Professionals Through Scenario-Based Assessment. Sci Eng Ethics 31, 23 (2025). https://doi.org/10.1007/s11948-025-00549-w

2. Kovachov, S., Bohdanov, I., & Suchikova, Y. (2025). Nano or Na-No? Ukraine's crisis of opportunity in nanotechnology education. Industry and Higher Education. https://doi.org/10.1177_09504222231209259

3. Nesterenko M., Mytsyk H., Petryk K., Kryvylova O., Kovachov S., & Suchikova Y. (2025). STEM educatison through the eyes of teachers from various specialties in Ukrainian Pedagogical University. International Journal of Educational Research Open, 9, 100464. https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100464

4. Petryk, K., Nesterenko, M., Mytsyk, H., Kovachov, S., Kryvylova, O., & Suchikova, Y. (2024). A cross-specialization study of pre-service teachers' perception of STEM education. International Journal of Science Education, 1–27. https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2432489

5. Nesterenko, M., Mytsyk, H., Petryk, K. et al. (2024). From Resistance to Acceptance: The Role of Higher Education in the Integration of STEM Education for Sustainable Development. Journal for STEM Educ Res. https://doi.org/10.1007/s41979-024-00141-0

Розділи книг, що індексуються у БД Scopus:

6. Kovachov, S., Kryvylova, O., Kurylo, O., Popova, A., Mytsyk, H., & Sychikova, Y. (2024). Assessing stakeholder perspectives on essential skills in nanoscience: What matters most?. In S. Tolochko (Ed.), TRANSFORMATION OF EDUCATION: MODERN CHALLENGES (pp. 26–51). Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-06-1.ch2

7. Bohdanov, I., Sychikova, Y., Kovachov, S., Kurylo, O., & Kryvylova, O. (2024). Chapter 5. Education-Science-Values: A Triple Helix Approach to

Nanotechnology Education for Sustainable Development. In REDEFINING HIGHER EDUCATION: INNOVATION, INCLUSION, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT DURING WARTIME (pp. 142–181). TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-07-8.ch5

8. Sychikova, Y., Nesterenko, M., Mytsyk, H., Petryk, K., & Kovachov, S. (2024). Building the future through STEM education: a catalyst for sustainable development and national revival of Ukraine. In REDEFINING HIGHER EDUCATION: INNOVATION, INCLUSION, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT DURING WARTIME (pp. 116–141). TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/10.15587/978-617-8360-07-8.ch

Праці апробаційного характеру, що індексуються у БД Scopus:

9. Kovachov, S., Kryvylova, O., Kurylo, O., Bohdanov, I., Popova, A., & Suchikova, Y. (2024). Skills of Future Nano-Specialists for Electronics and Energy: Insights from a Delphi Study. In 2024 IEEE 6th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/mees64070.2024.11405110

10. Popova, A., Kovachov, S., Lopatina, H., Tsybuliak, N., Suchikova, Y., & Bohdanov, I. (2023). High-Quality Digital Bichronous Education for Nanoengineers During the War in Ukraine: Does Technology Knowledge Matter? In 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). IEEE. https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402460

11. Suchikova, Y., Bohdanov, I., Kovachov, S., Bardus, I., Lazarenko, A., & Shishkin, G. (2021). Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis. У 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). IEEE. https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575745

12. Suchikova, Y. O., & Kovachov, S. S. (2024). Nanoart in STEAM education: Combining the microscopic and the creative. Journal of Physics: Conference Series, 2871(1), 012024. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2871/1/012024

13. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I., Kosogov, I., Drozhcha, D., & Popov, A. I. (2025). New Approach to Synthesizing the CdO/por-CdS/CdS Heterostructure. In 2025 IEEE 6th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/khpiweek61436.2025.11288657

14. Suchikova, Y., Kovachov, S., Kosogov, I., Bohdanov, I., Popov, A. I., & Popov, A. I. (2024). Improvement of ß-SiC/por-Si/mono-Si Heterostructures for Supercapacitor Applications by Mitigating Lattice Mismatch and Improving Electrochemical Performance. In 2024 IEEE 14th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP) (pp. 1–5). IEEE. https://doi.org/10.1109/nap62956.2024.10739751

15. Suchikova, Y., Kovachov, S., Karipbaev, Z., Zhydachevskyy, Y., Bohdanov, I., & Popov, A. I. (2024). Investigation of Photoluminescence and Raman Emission of Porous Gallium Phosphide. In 2024 IEEE 42nd International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) (pp. 227–230). IEEE. https://doi.org/10.1109/elnano63394.2024.10756876

16. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I., Kosogov, I., Drozhcha, D., & Popov, A. I. (2024). Electrochemical Synthesis and Characterization of AlGaAs/GaAs Nanostructured Heterostructures for Advanced Electronic and Optoelectronic Applications. In 2024 IEEE 7th International Conference on Smart Technologies in Power Engineering and Electronics (STEE) (pp. TT3.24.1—TT3.24.4). IEEE. https://doi.org/10.1109/stee63556.2024.10747853

17. Bohdanov, I., Kovachov, S., Tsybuliak, N., Lopatina, H., Popova, A., & Suchikova, Y. (2023). Resilience in Wartime Research: Case of Anticrisis Management at a Ukrainian University. In 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT). IEEE. https://doi.org/10.1109/csit61576.2023.10324134

Статті у фахових та закордонних виданнях:

18. Лопатіна, Г., Попова, А., Цибуляк, Н., Ковачов, С., & Сичікова, Я. (2024). Інтеграція науки, освіти та інновацій для сталого розвитку

високотехнологічних галузей: модель потрійної спіралі. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету, (1), 67–80. https://doi.org/10.32782/2412-9208-2024-1-67-80

19. Ковачов, С., Кривильова, О., Попова, А., & Сичікова, Я. (2024). Огляд кристалографічних баз даних для навчання майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства в умовах асинхронного навчання. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету, (1), 171–188. https://doi.org/10.32782/2412-9208-2024-1-171-188

20. Ковачов, С., Сичікова, Я., Попова, А., & Богданов, І. (2023). Засоби та методи асинхронного навчання при підготовці наноінженерів до професійної діяльності. Наукові записки БДПУ, Серія: Педагогічні науки, (1), 264-278.

21. Kovachov, S. S., Kurylo, O. Y., & Sychikova, Y. O. (2024). Integration of Sustainable Development Goals into Nanotechnology Programs for Competitiveness and Post-War Recovery of Ukraine. In Ukrainian universities amidst new realities: the conservation of scientific and human resources (pp. 196–215). Baltija Publishing. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-434-4-9

22. Kovachov , S., Suchikova, Y., Popova, A., & Bogdanov, I. (2023). Current state of future specialists training in the field of nanomaterials science: a brief overview of educational programs and ways for improvement. UNESCO Chair Journal Lifelong Professional Education in the XXI Century, 1(7), 66–85. https://doi.org/10.35387/ucj.1(7).2023.66-85

23. Попова, А., Сичікова, Я., Цибуляк, Н., Лопатіна, Г., Ковачов, С., & Попов, П. (2023). Дистанційне та змішане навчання в університетах України: Рефлексії щодо їх впровадження у мирний та воєнний час. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 2, 98–117. https://doi.org/10.31494/2412-9208-2023-1-2-98-117

24. Сичікова, Я., Ковачов, С., Несторенко, О., & Макаренко, Т. (2023). Рефлексивний аналіз сучасних викликів вищої освіти в сфері нанотехнологій: український контекст та глобальні перспективи. Technologies and society:

innovations, artificial intelligence, and challenges (с. 293–304). Katowice, Poland. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/1747

25. Бардус, І., Ковачов, С., Богданов, І., & Сичікова, Я. (2022). Професійна діяльність фахівця в галузі наноматеріалознавства зі створення наноструктур на поверхні напівпровідників. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 1, 55–64. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/923

26. Бардус, І., Ковачов, С., Богданов, І., & Сичікова, Я. (2022). Професійна компетентність фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 3, 237–248. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/428

Інші праці апробаційного характеру:

27. Ковачов, С., Попова, А., Богданов, І., & Сичікова, Я. (2023). Концептуальні засади підготовки нанотехнологів для створення наноматеріалів подвійного призначення. Actual Problems in the System of Education: General Secondary Education Institution – Pre-University Training – Higher Education Institution, (3), 368–376. за матеріалами IX Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми в системі освіти: заклад загальної середньої освіти – доуніверситетська підготовка – заклад вищої освіти» 17 лютого 2023 року, м. Київ, Україна https://doi.org/10.18372/2786-5487.1.17717

28. Сичікова , Я. О., Ковачов , С. С., Попова , А. С., & Богданов , І. Т. (2023). Цифрова трансформація та біхронне навчання під час війни: практичний приклад підготовки майбутніх наноінженерів. Дистанційна освіта в Україні: інноваційні, нормативно-правові, педагогічні аспекти, 1(3), 357–371. IV Міжнародна науково-практична конференція «Дистанційна освіта: інноваційні, нормативно-правові, педагогічні аспекти», присвячена 90-річчю Національного авіаційного університету 18 травня 2023 року, м. Київ, Україна Київ 2023 https://doi.org/10.18372/2786-5495.1.17799

Монографії:

29. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2024). Підходи до оцінювання якості наноструктур на поверхні напівпровідників. Монографія. Київ: ФОП Самченко А. М. ISBN 978-617-95380-5-6

30. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2024). Актуальні питання винахідництва та патентування у нанотехнологічній галузі. Монографія. Київ: ФОП Самченко А. М. ISBN 978-617-8413-07-1

31. Богданов, І., Сичікова, Я., & Ковачов, С. (2024). Теоретичні та методологічні засади підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства для продуктивної професійної діяльності. Монографія. Київ: ФОП Самченко А. М. ISBN 978-617-8413-09-5

Посібник:

32. Богданов, І., Сичікова, Я., Кривильова, О., & Ковачов, С. (2024). Наноматеріалознавство: Курс лекцій. Київ: ФОП Самченко.

Нормативно-технічні документи:

33. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023). Методика М.В. 1.5–2023 «НАНОМАТЕРІАЛИ. Синтез плівок $CuIn(Ga)Se_2$ для застосувань у сонячній енергетиці».

34. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023). Методика М.В. 1.4–2023 «НАНОМАТЕРІАЛИ. Синтез гетероструктури CdO/por-CdS/CdS».

35. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023). Методика М.В. 1.3–2023 «НАНОМАТЕРІАЛИ. Синтез нанодротів $Al_xGa_{1-x}As$ на поверхні mono-GaAs».

36. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023). Методика М.В. 1.2–2023 «НАНОМАТЕРІАЛИ. Синтез гетероструктури CdxTeyOz/CdS/ZnO методом SILAR».

37. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023). Методика М.В. 1.1–2023 «НАНОМАТЕРІАЛИ. Синтез наноструктурованого β-SiC на кремнієвій підкладці».

38. Сичікова, Я., Попова, А., & Ковачов, С. (2023). Концепція професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Патенти:

39. Сичікова, Я. О., Ковачов, С. С., & Богданов, І. Т. (2025). Спосіб отримання плівки β-SiC на кремнієвій підкладці. Патент № 158161 (Україна), бюл. № 2/2025. Дата подання заявки: 13.11.2023. Дата, з якої є чинними права: 09.01.2025.

40. Сичікова, Я. О., Ковачов, С. С., & Богданов, І. Т. (2025). Спосіб синтезу гетероструктури ZnO/ZnS/por-Si. Патент № 158162 (Україна), бюл. № 2/2025. Дата подання заявки: 14.11.2023. Дата, з якої є чинними права: 09.01.2025. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1836097/

ANNOTATION

Kovachov S. Formation of Professional Readiness of Future Specialists for Activities in the Field of Nanomaterials Science – Qualification research paper submitted as a manuscript.

The dissertation for obtaining the scientific degree of the Doctor of Philosophy in the field of knowledge 01 Education / Pedagogy, specialty 011 Educational, Pedagogical Sciences. – Berdyansk State Pedagogical University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Zaporizhzhia, 2026.

Content of the Annotation

In the dissertation

For the first time, a structural-functional model for developing the readiness for professional activity of future specialists in nanomaterials science has been theoretically substantiated, designed, and experimentally validated. The model includes target, methodological, content-processual, and diagnostic-evaluative blocks; ensures the achievement of the intended outcome, namely, the formation of readiness for professional activity among future nanomaterials specialists; provides for the phased implementation of updated content, organizational forms of the

educational process, teaching methods, and learning tools; and is realized through the creation of pedagogical conditions, including: ensuring the distributed nature of readiness formation through the gradual integration of ethical responsibility principles into the educational process; modernization of the content of professional disciplines through the implementation of modules from the course *"Ethics in Nanoscience and Nanotechnology"*; adaptation of the course's educational and methodological materials to polyformat learning environments; introduction of scenario-based assessment of readiness for professional activity; implementation of facilitative support for educational activities; and maintenance of a reflective-immersive educational environment during professional training. In addition, a scenario-based assessment toolkit for evaluating the readiness for professional activity of future nanomaterials specialists in terms of ethical responsibility requirements was developed, psychometrically verified, and tested. The toolkit is based on the analysis of professionally relevant ethical dilemmas and the integration of pedagogical and psychometric approaches.

The concepts of "readiness for professional activity of future specialists in nanomaterials science" and "formation of readiness for professional activity of future specialists in nanomaterials science" have been refined, with their interpretation aligned with the focus of the study.

The content of professional training for future nanomaterials specialists has been improved through the inclusion of scenario-based tasks, reflective learning activities, and interdisciplinary ethical case studies that promote the development of a responsible attitude toward scientific decision-making, innovation, and their social, environmental, and technological consequences.

Further development has been achieved in the ideas of professional training for future nanomaterials specialists based on systemic, competency-based, interdisciplinary, value-oriented, reflective, and scenario-based approaches, as well as in scientific understanding of pedagogical mechanisms for integrating ethics, sustainable development, and responsible innovation into the training of specialists

for high-tech sectors, with a particular emphasis on fostering ethical maturity and responsibility under conditions of uncertainty and multiple acceptable solutions.

The formation of readiness for professional activity of future specialists in nanomaterials science is defined as a process of purposeful pedagogical influence aimed at developing professionally significant knowledge, skills, value orientations, reflective abilities, and a responsible attitude toward future professional activity among higher education students. This process ensures their ability to act effectively in the field of nanomaterials science, consider the interdisciplinary nature of professional tasks, assess risks and consequences associated with nanotechnology applications, and make well-founded professional decisions.

Readiness for professional activity of future specialists in nanomaterials science is interpreted as an integrated characteristic encompassing cognitive, practical-operational, and motivational-value dimensions. It is manifested in the ability to conduct research, design, develop, and apply nanomaterials based on specialized scientific knowledge, proficiency in contemporary nanomaterials science methods, and awareness of responsibility for the potential consequences of professional activity. It also includes the ability to assess safety, environmental, social, and ethical risks associated with nanotechnologies, make informed decisions under uncertainty, and ensure the responsible use of scientific and technological outcomes.

The structural components of readiness for professional activity of future nanomaterials specialists have been identified. The cognitive component involves knowledge, understanding, and analytical reflection on ethical, social, and safety aspects of research and innovation activities, including recognition of environmental risks, analysis of the social consequences of innovation, understanding the principles of open science, identification of dual-use research risks, and analysis of the interests and needs of various stakeholders. The practical-operational component encompasses the ability to make decisions and implement appropriate actions in situations related to responsible research and innovation, including selecting preventive measures to minimize environmental risks, choosing responsible

approaches to innovation implementation, determining appropriate ways to disclose or restrict access to scientific data, selecting protective or restrictive measures to prevent undesirable use of research outcomes, and applying inclusive procedures for stakeholder engagement in decision-making processes. The motivational-value component reflects a system of values, attitudes, and motives that determine responsible professional behavior, including adherence to sustainable development and environmental responsibility principles, acceptance of responsibility for the consequences of innovative decisions, commitment to academic integrity and public trust in science, prioritization of safety and harm prevention, responsible use of scientific results, and support for the equitable distribution of risks and benefits among all stakeholders.

Based on the identified components of readiness for professional activity, criteria and indicators of its formation were established. Assessment of the cognitive component is carried out through evaluating students' ability to identify ethical aspects of professional situations, analyze them, and engage in systematic and structured ethical reasoning. The formation of the practical-operational component is determined by the ability to provide multidimensional argumentation, forecast potential and long-term consequences of professional decisions, and make informed decisions under conditions of uncertainty. The level of formation of the motivational-value component is characterized by awareness of the boundaries of professional responsibility, orientation toward ethical values, and willingness to act responsibly toward society, the environment, and the professional community.

A structural-functional model for developing the readiness for professional activity of future specialists in nanomaterials science was theoretically substantiated and designed. The model consists of interconnected and interdependent target, methodological, content-processual, and diagnostic-evaluative blocks. The target block defines the goal of forming readiness for professional activity among future nanomaterials specialists. The methodological block reflects the approaches and principles underlying readiness formation, including systemic, value-oriented, competency-based, interdisciplinary, reflective, and scenario-based approaches. The

content-processual block includes organizational forms of the educational process, teaching methods and tools, as well as the developed course *"Ethics in Nanoscience and Nanotechnology."* The diagnostic-evaluative block ensures monitoring of the dynamics of readiness formation according to established criteria and indicators.

The structural-functional model was implemented through three interrelated stages (initial, main, and final) by purposefully introducing a set of pedagogical conditions that ensured the achievement of the intended educational outcomes.

Educational and methodological support for developing readiness for professional activity among future nanomaterials specialists on the basis of ethical responsibility was developed and substantiated. The content of professional training was enhanced through the integration of ethical, safety, environmental, and social contexts. The course *"Ethics in Nanoscience and Nanotechnology"* was designed using a scenario-based approach and implemented within a reflective-immersive educational environment, enabling students to analyze professionally relevant ethical dilemmas, justify professional choices, and reflect on responsibility for the consequences of their decisions. The course's educational and methodological resources include scenario-based tasks, presentations, video materials, infographics, mind maps, checklists, guides, and other instructional tools suitable for both standalone use and integration into professional disciplines. A scenario-based assessment toolkit was also developed to monitor the dynamics of readiness formation during professional training.

The effectiveness of the developed model was experimentally tested in real educational settings involving second-cycle higher education students enrolled in the following specialties: 105 Applied Physics and Nanomaterials, 132 Materials Science, 174 Automation, Computer-Integrated Technologies and Robotics, 208 Agricultural Engineering, and 101 Ecology. The findings demonstrated positive dynamics in the development of readiness for professional activity among future nanomaterials specialists, including a significant reduction in the proportion of students with a low level of readiness (from 28.9 % to 5.0 %) and a simultaneous increase in the proportion of students with an advanced level of readiness (from

14.6 % to 49.3 %). These results were confirmed using methods of mathematical statistics.

The practical significance of the obtained results lies in the development and implementation of the course *"Ethics in Nanoscience and Nanotechnology"* within the professional training process of future nanomaterials specialists. The course is based on a scenario-based approach, as is the developed scenario-oriented assessment toolkit for evaluating the level of readiness for professional activity. The assessment toolkit is grounded in the analysis of professionally relevant ethical dilemmas.

Keywords: readiness for professional activity, distance learning, ethical responsibility, future specialists, nanomaterials science, interdisciplinarity, education for sustainable development, professional competence, vocational education, professional training, self-education, independent work, situational task, scenario-oriented learning, engineering students.

LIST OF PUBLISHED WORKS ON THE DISSERTATION TOPIC

Articles in international publications indexed in the Scopus database:

1. Suchikova, Y., Kovachov, S., Kryvylova, O. et al. Developing Ethical Responsibility in Future Nanoscience Professionals Through Scenario-Based Assessment. Sci Eng Ethics 31, 23 (2025). https://doi.org/10.1007/s11948-025-00549-w

2. Kovachov, S., Bohdanov, I., & Suchikova, Y. (2025). Nano or Na-No? Ukraine's crisis of opportunity in nanotechnology education. Industry and Higher Education. https://doi.org/10.1177_09504222231209259

3. Nesterenko M., Mytsyk H., Petryk K., Kryvylova O., Kovachov S., & Suchikova Y. (2025). STEM educatison through the eyes of teachers from various specialties in Ukrainian Pedagogical University. International Journal of Educational Research Open, 9, 100464. https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100464

4. Petryk, K., Nesterenko, M., Mytsyk, H., Kovachov, S., Kryvylova, O., & Suchikova, Y. (2024). A cross-specialization study of pre-service teachers' perception of STEM education. International Journal of Science Education, 1–27. https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2432489

5. Nesterenko, M., Mytsyk, H., Petryk, K. et al. (2024). From Resistance to Acceptance: The Role of Higher Education in the Integration of STEM Education for Sustainable Development. Journal for STEM Educ Res. https://doi.org/10.1007/s41979-024-00141-0

Book chapters indexed in the Scopus database:

6. Kovachov, S., Kryvylova, O., Kurylo, O., Popova, A., Mytsyk, H., & Sychikova, Y. (2024). Assessing stakeholder perspectives on essential skills in nanoscience: What matters most?. In S. Tolochko (Ed.), TRANSFORMATION OF EDUCATION: MODERN CHALLENGES (pp. 26–51). Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-06-1.ch2

7. Bohdanov, I., Sychikova, Y., Kovachov, S., Kurylo, O., & Kryvylova, O. (2024). Chapter 5. Education-Science-Values: A Triple Helix Approach to Nanotechnology Education for Sustainable Development. In REDEFINING HIGHER EDUCATION: INNOVATION, INCLUSION, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT DURING WARTIME (pp. 142–181). TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-07-8.ch5

8. Sychikova, Y., Nesterenko, M., Mytsyk, H., Petryk, K., & Kovachov, S. (2024). Building the future through STEM education: a catalyst for sustainable development and national revival of Ukraine. In REDEFINING HIGHER EDUCATION: INNOVATION, INCLUSION, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT DURING WARTIME (pp. 116–141). TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/10.15587/978-617-8360-07-8.ch

Approbation publications indexed in the Scopus database:

9. Kovachov, S., Kryvylova, O., Kurylo, O., Bohdanov, I., Popova, A., & Suchikova, Y. (2024). Skills of Future Nano-Specialists for Electronics and Energy: Insights from a Delphi Study. In 2024 IEEE 6th International Conference on Modern

Electrical and Energy System (MEES) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/mees64070.2024.11405110

10. Popova, A., Kovachov, S., Lopatina, H., Tsybuliak, N., Suchikova, Y., & Bohdanov, I. (2023). High-Quality Digital Bichronous Education for Nanoengineers During the War in Ukraine: Does Technology Knowledge Matter? In 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). IEEE. https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402460

11. Suchikova, Y., Bohdanov, I., Kovachov, S., Bardus, I., Lazarenko, A., & Shishkin, G. (2021). Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis. У 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). IEEE. https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575745

12. Suchikova, Y. O., & Kovachov, S. S. (2024). Nanoart in STEAM education: Combining the microscopic and the creative. Journal of Physics: Conference Series, 2871(1), 012024. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2871/1/012024

13. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I., Kosogov, I., Drozhcha, D., & Popov, A. I. (2025). New Approach to Synthesizing the CdO/por-CdS/CdS Heterostructure. In 2025 IEEE 6th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/khpiweek61436.2025.11288657

14. Suchikova, Y., Kovachov, S., Kosogov, I., Bohdanov, I., Popov, A. I., & Popov, A. I. (2024). Improvement of ß-SiC/por-Si/mono-Si Heterostructures for Supercapacitor Applications by Mitigating Lattice Mismatch and Improving Electrochemical Performance. In 2024 IEEE 14th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP) (pp. 1–5). IEEE. https://doi.org/10.1109/nap62956.2024.10739751

15. Suchikova, Y., Kovachov, S., Karipbaev, Z., Zhydachevskyy, Y., Bohdanov, I., & Popov, A. I. (2024). Investigation of Photoluminescence and Raman Emission of Porous Gallium Phosphide. In 2024 IEEE 42nd International

Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) (pp. 227–230). IEEE. https://doi.org/10.1109/elnano63394.2024.10756876

16. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I., Kosogov, I., Drozhcha, D., & Popov, A. I. (2024). Electrochemical Synthesis and Characterization of AlGaAs/GaAs Nanostructured Heterostructures for Advanced Electronic and Optoelectronic Applications. In 2024 IEEE 7th International Conference on Smart Technologies in Power Engineering and Electronics (STEE) (pp. TT3.24.1—TT3.24.4). IEEE. https://doi.org/10.1109/stee63556.2024.10747853

17. Bohdanov, I., Kovachov, S., Tsybuliak, N., Lopatina, H., Popova, A., & Suchikova, Y. (2023). Resilience in Wartime Research: Case of Anticrisis Management at a Ukrainian University. In 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT). IEEE. https://doi.org/10.1109/csit61576.2023.10324134

Articles in professional and international publications:

18. Lopatina, H., Popova, A., Tsybuliak, N., Kovachov, S., & Sychikova, Y. (2024). Integration of science, education and innovation for the sustainable development of high-technology industries: the Triple Helix model. Scientific Papers of Berdyansk State Pedagogical University, (1), 67–80. https://doi.org/10.32782/2412-9208-2024-1-67-80

19. Kovachov, S., Kryvylova, O., Popova, A., & Sychikova, Y. (2024). Review of crystallographic databases for training future specialists in nanomaterials science under asynchronous learning conditions. Scientific Papers of Berdyansk State Pedagogical University, (1), 171–188. https://doi.org/10.32782/2412-9208-2024-1-171-188

20. Kovachov, S., Sychikova, Y., Popova, A., & Bohdanov, I. (2023). Tools and methods of asynchronous learning in preparing nanoengineers for professional activity. Scientific Papers of BDPU, Series: Pedagogical Sciences, (1), 264–278.

21. Kovachov, S. S., Kurylo, O. Y., & Sychikova, Y. O. (2024). Integration of Sustainable Development Goals into Nanotechnology Programs for Competitiveness and Post-War Recovery of Ukraine. In Ukrainian universities

amidst new realities: the conservation of scientific and human resources (pp. 196–215). Baltija Publishing. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-434-4-9

22. Kovachov, S., Suchikova, Y., Popova, A., & Bogdanov, I. (2023). Current state of future specialists training in the field of nanomaterials science: a brief overview of educational programs and ways for improvement. UNESCO Chair Journal Lifelong Professional Education in the XXI Century, 1(7), 66–85. https://doi.org/10.35387/ucj.1(7).2023.66-85

23. Popova, A., Sychikova, Y., Tsybuliak, N., Lopatina, H., Kovachov, S., & Popov, P. (2023). Distance and blended learning in Ukrainian universities: Reflections on their implementation in peacetime and wartime. Scientific Papers of Berdyansk State Pedagogical University. Series: Pedagogical Sciences, 2, 98–117. https://doi.org/10.31494/2412-9208-2023-1-2-98-117

24. Sychikova, Y., Kovachov, S., Nestorenko, O., & Makarenko, T. (2023). Reflective analysis of contemporary challenges in higher education in the field of nanotechnology: the Ukrainian context and global perspectives. Technologies and society: innovations, artificial intelligence, and challenges (pp. 293–304). Katowice, Poland. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/1747

25. Bardus, I., Kovachov, S., Bohdanov, I., & Sychikova, Y. (2022). Professional activity of a specialist in the field of nanomaterials science in creating nanostructures on semiconductor surfaces. Scientific Papers of Berdyansk State Pedagogical University. Series: Pedagogical Sciences, 1, 55–64. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/923

26. Bardus, I., Kovachov, S., Bohdanov, I., & Sychikova, Y. (2022). Professional competence of a specialist in the field of nanomaterials science in creating innovative nanostructures on semiconductor surfaces. Scientific Papers of Berdyansk State Pedagogical University. Series: Pedagogical Sciences, 3, 237–248. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/428

Other approbation publications:

27. Kovachov, S., Popova, A., Bohdanov, I., & Sychikova, Y. (2023). Conceptual foundations for training nanotechnologists to create dual-purpose

nanomaterials. Actual Problems in the System of Education: General Secondary Education Institution – Pre-University Training – Higher Education Institution, (3), 368–376. Based on the materials of the 9th International Scientific and Practical Conference “Actual Problems in the System of Education: General Secondary Education Institution – Pre-University Training – Higher Education Institution”, February 17, 2023, Kyiv, Ukraine. https://doi.org/10.18372/2786-5487.1.17717

28. Sychikova, Y. O., Kovachov, S. S., Popova, A. S., & Bohdanov, I. T. (2023). Digital transformation and bichronous learning during the war: a practical case of training future nanoengineers. Distance Education in Ukraine: Innovative, Regulatory, Legal and Pedagogical Aspects, 1(3), 357–371. The 4th International Scientific and Practical Conference “Distance Education: Innovative, Regulatory, Legal and Pedagogical Aspects”, dedicated to the 90th anniversary of the National Aviation University, May 18, 2023, Kyiv, Ukraine. Kyiv, 2023. https://doi.org/10.18372/2786-5495.1.17799

Monographs:

29. Sychikova, Y., Bohdanov, I., & Kovachov, S. (2024). Approaches to assessing the quality of nanostructures on semiconductor surfaces. Monograph. Kyiv: FOP Samchenko A. M. ISBN 978-617-95380-5-6

30. Sychikova, Y., Bohdanov, I., & Kovachov, S. (2024). Current issues of inventiveness and patenting in the nanotechnology field. Monograph. Kyiv: FOP Samchenko A. M. ISBN 978-617-8413-07-1

31. Bohdanov, I., Sychikova, Y., & Kovachov, S. (2024). Theoretical and methodological principles of training future specialists in the field of nanomaterials science for productive professional activity. Monograph. Kyiv: FOP Samchenko A. M. ISBN 978-617-8413-09-5

Textbook:

32. Bohdanov, I., Sychikova, Y., Kryvylova, O., & Kovachov, S. (2024). Nanomaterials Science: A Lecture Course. Kyiv: FOP Samchenko.

Regulatory and technical documents:

33. Sychikova, Y., Bohdanov, I., & Kovachov, S. (2023). Methodology M.V. 1.5–2023 “NANOMATERIALS. Synthesis of CuIn(Ga)Se_2 films for solar energy applications”.

34. Sychikova, Y., Bohdanov, I., & Kovachov, S. (2023). Methodology M.V. 1.4–2023 “NANOMATERIALS. Synthesis of the CdO/por-CdS/CdS heterostructure”.

35. Sychikova, Y., Bohdanov, I., & Kovachov, S. (2023). Methodology M.V. 1.3–2023 “NANOMATERIALS. Synthesis of $Al_xGa_{1-x}As$ nanowires on the surface of mono-GaAs”.

36. Sychikova, Y., Bohdanov, I., & Kovachov, S. (2023). Methodology M.V. 1.2–2023 “NANOMATERIALS. Synthesis of the CdxTeyOz/CdS/ZnO heterostructure by the SILAR method”.

37. Sychikova, Y., Bohdanov, I., & Kovachov, S. (2023). Methodology M.V. 1.1–2023 “NANOMATERIALS. Synthesis of nanostructured β-SiC on a silicon substrate”.

38. Sychikova, Y., Popova, A., & Kovachov, S. (2023). Concept of professional training of future specialists in the field of nanomaterials science.

Patents:

39. Sychikova, Y. O., Kovachov, S. S., & Bohdanov, I. T. (2025). Method for obtaining a β-SiC film on a silicon substrate. Patent No. 158161 (Ukraine), Bulletin No. 2/2025. Application filing date: 13.11.2023. Date from which the rights are valid: 09.01.2025.

40. Sychikova, Y. O., Kovachov, S. S., & Bohdanov, I. T. (2025). Method for synthesizing a ZnO/ZnS/por-Si heterostructure. Patent No. 158162 (Ukraine), Bulletin No. 2/2025. Application filing date: 14.11.2023. Date from which the rights are valid: 09.01.2025. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1836097/

ЗМІСТ

ВСТУП 28

Список використаних джерел до вступу 38

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА 42

1.1. Концептуальне поле професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства 42

1.2. Структура готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства 62

Висновки до розділу 1 88

Список використаних джерел до розділу 1 93

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА 107

2.1. Імерсивне освітнє середовище як основа професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства 107

2.2. Сценарне навчання майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства та його попередня апробація 125

2.3. Структурно-функціональна модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства 157

Висновки до розділу 2 169

Список використаних джерел до розділу 2 173

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ

ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА 180
3.1. Організація перевірки ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства 180
3.2. Аналіз результатів перевірки ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства 190
Висновки до розділу 3 215
Список використаних джерел до розділу 3 215
ВИСНОВКИ 221
ДОДАТКИ 224

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасний етап розвитку суспільства характеризується стрімким зростанням ролі наукоємних і високотехнологічних галузей, серед яких нанонаука та наноматеріалознавство посідають одне з ключових місць. Інтенсивний розвиток нанотехнологій зумовлює глибокі трансформації у промисловості, енергетиці, медицині, екології, аграрному секторі та оборонній сфері, водночас актуалізуючи питання відповідальної підготовки фахівців, здатних не лише створювати інноваційні технологічні рішення, а й усвідомлювати їхні довгострокові соціальні, екологічні та етичні наслідки.

Інтеграція України у Європейський дослідницький та освітній простір, а також курс на сталий розвиток зумовлюють необхідність модернізації системи вищої освіти відповідно до міжнародних стратегічних і нормативних рамок. Це, зокрема, відображено у Законах України «Про освіту» (Верховна Рада України, 2017) та «Про вищу освіту» (Верховна Рада України, 2014), де підкреслюється компетентнісна спрямованість освіти, орієнтація на формування відповідальності, критичного мислення та здатності до міждисциплінарної взаємодії. Вектор цих змін узгоджується з положеннями Національної стратегії розвитку освіти (Президент України, 2013), а також із зобов'язаннями України щодо реалізації Цілей сталого розвитку ООН до 2030 року (United Nations, 2015). На глобальному рівні важливе значення мають положення UNESCO щодо освіти для сталого розвитку (UNESCO, 2020), Рекомендації ЮНЕСКО щодо наукової етики (UNESCO, 2017), Європейська рамка ключових компетентностей для навчання впродовж життя (Council of the European Union, 2018), а також документи Європейського Союзу у сфері відповідальних досліджень та інновацій (European Commission, 2012).

У цих документах наголошується на необхідності підготовки фахівців, здатних діяти в умовах наукової невизначеності, технологічних ризиків і

складних соціальних викликів, поєднуючи професійну компетентність із ціннісною та етичною відповідальністю.

Особливої актуальності зазначені вимоги набувають у сфері наноматеріалознавства, яка характеризується міждисциплінарним характером, високим інноваційним потенціалом і водночас підвищеним рівнем невизначеності щодо впливу наноматеріалів на здоров'я людини та навколишнє середовище. У міжнародних нормативних документах, зокрема стандартах ISO та рекомендаціях OECD, підкреслюється необхідність інтеграції питань безпеки, оцінки ризиків, етичних аспектів і сталості на всіх етапах розроблення та використання наноматеріалів і наноуможливлених продуктів (ISO, 2011, 2012, 2024; OECD, 2013/2025, 2025). Відповідно, підготовка фахівців у галузі наноматеріалознавства не може обмежуватися лише формуванням технічних і наукових умінь, а має включати розвиток системного мислення, ціннісних орієнтацій та готовності до відповідальної професійної діяльності.

Разом із тим аналіз сучасної освітньої практики та науково-педагогічних досліджень свідчить, що у підготовці майбутніх фахівців домінує предметно-знаннєвий підхід, зорієнтований переважно на засвоєння спеціалізованих дисциплін і лабораторних навичок (Alieksieieva et al., 2025; Bohdanov et al., 2024, Suchikova et al., 2021; Попова та ін., 2023; Сичікова та ін., 2023; Бардус та ін.; Богданов та ін., Горбатюк та ін., 2022, 2025; Кузнєцова, 2025; Кузнєцова & Коломоєць, 2025; Тітова та ін., 2025; Жигірь, 2021; Школа, 2021; Школа & Бєлоконь, 2025 та ін.). Проте питання формування готовності до професійної діяльності в контексті сталого розвитку, етичної відповідальності, управління ризиками та міждисциплінарної взаємодії залишаються фрагментарно представленими або недостатньо концептуалізованими в освітніх програмах.

Узагальнення результатів аналізу нормативно-правових документів, міжнародних стратегій, науково-педагогічної літератури та практики підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства дозволило виявити такі *суперечності між*:

– зростаючою потребою суспільства, науки, високотехнологічних галузей у фахівцях здатних до відповідальної професійної діяльності у галузі наноматеріалознавства та переважно технократичним характером їхньої професійної підготовки у закладах вищої освіти;

– інноваційною, міждисциплінарною, потенційно ризикогенною природою наноматеріалів та недостатньою інтеграцією етичних, ціннісних, безпекових і рефлексивних складників у структурі професійної готовності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства;

– необхідністю цілеспрямованого формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства та відсутністю науково обґрунтованої структурно-функціональної моделі цього процесу.

Отже, актуальність визначеної проблеми підготовки фахівців для високотехнологічних і соціально відповідальних сфер діяльності, недостатня розробленість її на теоретико-методичному рівні, а також потреба в усунені суперечностей зумовили вибір теми дисертаційного дослідження: **«Формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства».**

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано відповідно до тематичного плану Бердянського державного педагогічного університету в межах комплексної теми кафедри фізики, математики та методики навчання (2021–2025 рр.): «Теоретико-методичні засади системної підготовки майбутніх фахівців у галузі фізики, методики фізики та наноматеріалознавства до професійної діяльності» (0121U109417), а також держбюджетних наукових досліджень: «Теоретико-методичні засади системної фундаменталізації підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до продуктивної професійної діяльності» (0121U109426, 2021–2023 рр.); «Пошук оптимальних умов синтезу наноструктур на поверхні напівпровідників A3B5, A2B6 і кремнію для фотоніки і сонячної енергетики» (0122U000129, 2022–2024 рр.); «Система

дистанційної та змішаної профілізованої підготовки майбутніх наноінженерів до розробки нових наноматеріалів подвійного призначення (0123U100110, 2023–2025 рр.); «Українські університети в нових реаліях: вплив війни та механізми збереження наукового і кадрового потенціалу підготовки фахівців високотехнологічних галузей» (0123U105351, 2024–2026 рр.); «Інтегрований підхід до професійної підготовки STEM-орієнтованих педагогів: синергія наукоємних і цифрових технологій» (0123U105357, 2024–2026 рр.).

Окремі етапи та результати дисертаційного дослідження частково підтримано в межах індивідуальних стипендій і грантових програм, спрямованих на розвиток наукового потенціалу, міждисциплінарних досліджень і збереження наукової діяльності в умовах суспільних криз, зокрема: Стипендія Кабінету Міністрів України для молодих учених (2022 р.); Artists at Risk Connection (PEN America) (2022 р.); Ukrainian Grants Program in Nanophotonics (2023 р.).

Тему дисертації затверджено вченою радою Бердянського державного педагогічного університету (протокол №4/3 від 27.10.2022 р.) та узгоджено в бюро Міжвідомчої ради з координації досліджень у галузі освіти, педагогіки і психології (протокол №1 від 14.03.2023 р.).

Об'єкт дослідження – професійна підготовка майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства у закладах вищої освіти.

Предмет дослідження – формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати, розробити та експериментально перевірити ефективність структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Відповідно до поставленої мети визначено **такі завдання дослідження**:

1. На основі аналізу сучасної теорії та практики розкрити сутність базових понять дослідження та особливості формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

2. Визначити структуру, критерії та показники готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства та розробити інструментарій для оцінювання рівнів її сформованості.

3. Розробити навчально-методичне забезпечення формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

4. Теоретично обґрунтувати та розробити структурно-функціональну модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства й визначити педагогічні умови її реалізації.

5. Експериментально перевірити ефективність структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Для досягнення мети дослідження та розв'язання поставлених завдань використано комплекс взаємопов'язаних методів дослідження: *теоретико-аналітичні методи:* системний і проблемно-цільовий аналіз філософських, психолого-педагогічних і міждисциплінарних джерел з проблем професійної підготовки, етики науки, відповідальних досліджень та інновацій; нормативно-порівняльний аналіз міжнародних і національних етичних та освітніх рамок; контент-аналіз навчальних планів, освітніх програм, робочих програм дисциплін і методичних матеріалів – для виявлення представленості етичних, ціннісних і відповідальних практик у підготовці майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства; *емпіричні методи*: збір кількісних і якісних даних із використанням опитувань ключових стейкхолдерів нанонаукової та освітньої екосистеми (представників академічного середовища, індустрії, здобувачів освіти та експертів з етики) з метою уточнення пріоритетних компонентів готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства та очікувань щодо етичної відповідальності; фасилітовані групові обговорення, рефлексивні сесії, сценарно-орієнтовані ситуаційні завдання для моделювання професійних етичних дилем у сфері нанонауки та високих технологій; метод сценарного дизайну «до/після», що передбачає індивідуальне проходження авторського інструментарію

оцінювання з подальшим колективним рефлексивним обговоренням без нормативного нав'язування рішень – для оцінювання змін у сформованості готовності до професійної діяльності (фіксація не лише кількісних показників, а й трансформації у способах міркування та аргументації); *психометричні методи*: експертна оцінка змістової валідності сценаріїв і запитань із залученням фахівців різних професійних груп; аналіз внутрішньої узгодженості шкал (коефіцієнт α Кронбаха та альтернативні показники внутрішньої надійності); аналіз дискримінативності окремих сценарних завдань і показників – для розроблення й апробації авторського інструмента оцінювання етичної відповідальності; пілотна апробація інструмента – для уточнення його структури, формулювань і чутливості до змін у міркуваннях респондентів; *методи обробки даних:* описова статистика, порівняльний аналіз результатів первинного та повторного вимірювань, якісно орієнтований аналіз змін у характері аргументації та логіці прийняття рішень у сценарних завданнях; подання кількісних результатів у вигляді таблиць і графіків з урахуванням обмежень пілотного характеру вибірки та дослідницької спрямованості етапу апробації інструмента.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

вперше: теоретично обґрунтовано, розроблено та експериментально перевірено ефективність структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, що включає цільовий, методологічний, змістово-процесуальний та діагностично-оцінювальний блоки; забезпечує результат, яким є сформована готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства; передбачає поетапне запровадження оновленого змісту, форм організації освітнього процесу, методів і засобів навчання; реалізується завдяки створенню педагогічних умов (забезпечення розподіленого характеру формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства шляхом поетапної інтеграції принципів етичної відповідальності в освітній процес, модернізація

змісту фахових дисциплін підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності через імплементацію модулів курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», адаптація навчально-методичних матеріалів курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» до поліформатних умов підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, упровадження сценарно-орієнтованого оцінювання сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, реалізація фасилітативного супроводу освітньої діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, підтримка рефлексивно-імерсивного освітнього середовища у процесі професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства); розроблено, психометрично верифіковано та апробовано сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства з урахуванням вимог етичної відповідальності, побудований на аналізі професійно релевантних етичних дилем та інтеграції педагогічних і психометричних підходів.

уточнено поняття «готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства» і «формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства», тлумачення яких орієнтоване на предмет дослідження;

удосконалено зміст професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства шляхом включення до нього сценарно-орієнтованих завдань, рефлексивних форм навчальної діяльності та міждисциплінарних етичних кейсів, що сприяють формуванню відповідального ставлення до наукових рішень, інновацій та їх соціальних, екологічних і технологічних наслідків;

подальшого розвитку набули ідеї професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на основі системного, компетентнісного, міждисциплінарного, ціннісно-орієнтованого, рефлексивного та сценарного підходів; наукові уявлення про педагогічні

механізми інтеграції етики, сталого розвитку та відповідальних інновацій у підготовку фахівців для високотехнологічних галузей, з акцентом на формування етичної зрілості та відповідальності в умовах невизначеності та множинності допустимих рішень.

Практичне значення одержаних результатів дослідження полягає в розробленні та впровадженні у процес професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства навчального курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», який ґрунтується на сценарному підході, а також сценарно-орієнтованого інструментарію оцінювання рівня сформованості їхньої готовності до професійної діяльності, що базується на аналізі професійно релевантних етичних дилем.

Матеріали дослідження впроваджено в освітній процес Луцького національного технічного університету (довідка №1073/01.14 від 24.04.2026), Сумського національного аграрного університету (довідка №01.0/03/835 від 28.04.2026), Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного (довідка №11/96 від 28.04.2026) та Бердянського державного педагогічного університету (довідка №63-08/21 від 16.09.2022).

Матеріали дослідження можуть бути використані під час професійної підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства, матеріалознавства, прикладної фізики, інженерії та інших високотехнологічних спеціальностей з метою формування відповідального ставлення до наукових і інноваційних рішень, а також усвідомлення їхніх соціальних, екологічних і технологічних наслідків.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження доповідалися й обговорювалися на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях, зокрема: IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES) (2023, 2024, м. Кременчук, Україна); IEEE Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) (2021, м. Львів, Україна); IEEE International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) (2024, м. Київ,

Україна); IEEE International Conference on Smart Technologies in Power Engineering and Electronics (STEE) (2024, м. Київ, Україна); IEEE International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT) (2023, м. Львів, Україна); IEEE International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP) (2024, м. Рига, Латвія); IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek) (2025, м. Харків, Україна), Actual Problems in the System of Education: General Secondary Education Institution – Pre-University Training – Higher Education Institution» (2023, м. Київ, Україна); Дистанційна освіта: інноваційні, нормативно-правові, педагогічні аспекти (2023, м. Київ, Україна).

Публікації. Основні теоретичні положення та результати дисертаційного дослідження відображено у 40 наукових працях автора, серед яких 17 публікацій, що індексуються в наукометричній базі Scopus (у тому числі 5 статей у міжнародних рецензованих наукових журналах; 3 розділи у колективних монографіях міжнародних видавництв; 9 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій, виданих у серіях IEEE та IOP Conference Series); 9 статей у наукових фахових виданнях України (категорії Б) та закордонних виданнях; 2 публікації у матеріалах всеукраїнських науково-практичних конференцій; 3 монографії; 1 навчальний посібник; 6 нормативно-технічних документів (методик); 2 патенти на корисну модель України на винаходи.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, трьох розділів, висновків до них, загальних висновків, списків використаних джерел (226 найменувань, з них 191 – іноземними мовами) і додатків (4 на 35 сторінках). Загальний обсяг дисертації становить 257 сторінок друкованого тексту, основний зміст викладено на 165 сторінках. Роботу ілюстровано 25 таблицями та 13 рисунками.

Розкриття факту делегування завдань генеративному ШІ.

Автор заявляє про використання генеративного ШІ у процесі дослідження та підготовки рукопису. Відповідно до таксономії GAIDeT (2025), наведені нижче завдання були делеговані інструментам генеративного ШІ за повного людського нагляду: вичитування та редагування; резюмування тексту, реформатування.

Використаний інструмент генеративного ШІ: ChatGPT-5.

Повну відповідальність за фінальний рукопис несе автор.

Інструменти генеративного ШІ не зазначаються як автори та не несуть відповідальності за кінцеві результати.

Список використаних джерел до вступу

1. Bohdanov, I., Sychikova, Y., Kovachov, S., Kurylo, O., & Kryvylova, O. (2024). Chapter 5. Education-Science-Values: A Triple Helix Approach to Nanotechnology Education for Sustainable Development. In REDEFINING HIGHER EDUCATION: INNOVATION, INCLUSION, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT DURING WARTIME (pp. 142–181). TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-07-8.ch 5

2. Council of the European Union. (2018). Council Recommendation of 22 May 2018 on key competences for lifelong learning (2018/C 189/01). Official Journal of the European Union, C 189, 1–13. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018H0604(01)

3. European Commission. (2012). Responsible research and innovation: Europe's ability to respond to societal challenges. URL: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/bb29bbce-34b9-4da3-b67d-c9f717ce7c58

4. ISO. (2011). ISO/TR 13121:2011, Nanotechnologies—Nanomaterial risk evaluation. https://www.iso.org/standard/52976.html

5. ISO. (2012). ISO/TR 13014:2012, Nanotechnologies—Guidance on physico-chemical characterization of engineered nanoscale materials for toxicologic assessment. https://committee.iso.org/committee/381983.html?angularParam=p%2F0%2Fu%2F1%2Fw%2F0%2Fd%2F0&view=catalogue

6. ISO. (2024). ISO/TS 12901-1:2024, Nanotechnologies—Occupational risk management applied to engineered nanomaterials—Part 1: Principles and approaches. https://www.iso.org/obp/ui/en/

7. OECD. (2025). Recommendation of the Council on the Safety Testing and Assessment of Manufactured Nanomaterials (OECD/LEGAL/0400). https://legalinstruments.oecd.org/public/doc/298/298.en.pdf

8. OECD. (2025). Safe(r) and Sustainable Innovation Approach (SSIA): Nano-enabled and other emerging materials. https://www.oecd.org/en/topics/sub-issues/nanomaterials-and-advanced-materials/safer-and-sustainable-innovation-approach-ssia-nano-enabled-and-other-emerging-materials.html

9. OECD. (n.d.). OECD series on the safety of manufactured nanomaterials and other advanced materials. https://www.oecd.org/en/publications/oecd-series-on-the-safety-of-manufactured-nanomaterials-and-other-advanced-materials_e7a5fc17-en.html

10. Suchikova, Y., Bohdanov, I., Kovachov, S., Bardus, I., Lazarenko, A., & Shishkin, G. (2021). Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis. У 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). IEEE. https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575745

11. UNESCO. (2017). Recommendation on Science and Scientific Researchers. URL: https://www.unesco.org/en/legal-affairs/recommendation-science-and-scientific-researchers

12. UNESCO. (2020). Education for sustainable development: A roadmap. URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802

13. United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. URL: https://sdgs.un.org/2030agenda

14. Alieksieieva, H., Kravchenko, N., Horbatiuk, L., Nestorenko, T., Zhyhir, V., Kalinichenko, A., & Glazova, Y. (2025). Digital transformation of relocated higher education institutions in Ukraine under martial law. Problems and Perspectives in Management, 23(2), 71.

15. Бардус, І., Ковачов, С., Богданов, І., & Сичікова, Я. (2022). Професійна компетентність фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 3, 237–248. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/428

16. Богданов, І., Сичікова, Я., & Ковачов, С. (2024). Теоретичні та методологічні засади підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства для продуктивної професійної діяльності. Монографія. Київ: ФОП Самченко А. М. ISBN 978-617-8413-09-5

17. Верховна Рада України. (2014). Про вищу освіту: Закон України від 01.07.2014 № 1556-VII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18

18. Верховна Рада України. (2017). Про освіту: Закон України від 05.09.2017 № 2145-VIII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19

19. Горбатюк, Р., Замора, Я., Сіткар, С., & Бурега, Н. (2022). Технологія формування професіоналізму майбутніх фахівців професійної освіти засобами мультимедійних технологій. Молодь і ринок, (5/203). https://doi.org/10.24919/2308-4634.2022.259584

20. Горбатюк, Р. М., Погорєлов, М. Г., Макєєв, А. А., & Реннер, В. В. (2025). Формування фахової компетентності педагогів професійного навчання транспортної галузі на основі автосимуляторів: інноваційні підходи. Наукові записки, (163), 29–36. https://doi.org/10.31392/nz-udu-163.2025.04

21. Жигірь, В., Горбатюк, Л., & Забєліна, Ю. (2021). Професійна підготовка майбутніх мобільних кваліфікованих робітників у закладах професійної (професійно-технічної) освіти як наукова проблема. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, (2), 227–238. https://doi.org/10.31494/2412-9208-2021-1-2-227-238

22. Попова, А., Сичікова, Я., Цибуляк, Н., Лопатіна, Г., Ковачов, С., & Попов, П. (2023). Дистанційне та змішане навчання в університетах України: Рефлексії щодо їх впровадження у мирний та воєнний час. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 2, 98–117. https://doi.org/10.31494/2412-9208-2023-1-2-98-117

23. Президент України. (2013). Про Національну стратегію розвитку освіти в Україні на період до 2021 року: Указ № 344/2013. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/344/2013

24. Сичікова, Я., Ковачов, С., Несторенко, О., & Макаренко, Т. (2023). Рефлексивний аналіз сучасних викликів вищої освіти в сфері нанотехнологій: український контекст та глобальні перспективи. Technologies and society: innovations, artificial intelligence, and challenges (с. 293–304). Katowice, Poland. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/1747

25. Тітова, О.А., Лузан, П.Г., Мося, І.А, Шусть В. В., Романов, Л.А., Ямковий, О.Ю., Гуменна, Л.С & Царьова, Е. С. (2025) Technologies for developing professional competence of pedagogical workers of professional colleges in special conditions of activity: a methodological manual . ІПО НАПН України, м. Київ, Україна. ISBN 978-617-8167-28-8

26. Школа, О., & Бєлоконь, О. (2025). Історичні аспекти формування дослідницької компетентності учнів у навчанні фізики. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, (1), 123–131. URL: https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/5208

27. Школа, О. (2021). Системно-діяльнісний підхід у навчанні теоретичної фізики в педагогічному університеті. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, (2), 341–349. URL: https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/1502

РОЗДІЛ 1
ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

1.1. Концептуальне поле професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Сучасний етап розвитку науки й високотехнологічних галузей промисловості характеризується стрімким зростанням потреби суспільства у фахівцях з наноматеріалознавства, здатних не лише до виконання складних професійних завдань, а й до відповідальної діяльності з урахуванням етичних, екологічних та соціальних наслідків упровадження нанотехнологій (Kovachov et al., 2024 a, b; Popova et al., 2023). Водночас підготовка таких фахівців у закладах вищої освіти здебільшого зберігає технократичний характер, орієнтований переважно на засвоєння спеціальних знань і технологічних умінь, що зумовлює недостатню увагу до формування ціннісних орієнтацій, професійної відповідальності та соціальної зрілості майбутніх фахівців (Бардус та ін., 2022; Ковачов та ін., 2024; 2023; Nesterenko et al., 2024, 2025; Petryk et al., 2024; Suchikova et al., 2023). Це протиріччя актуалізує необхідність переосмислення цілей, змісту й підходів до професійної підготовки у галузі наноматеріалознавства, що неможливе без уточнення наукових категорій, у межах яких здійснюється як підготовка майбутніх фахівців, так і їхня подальша професійна діяльність. Саме тому доцільним є розмежування ключових понять, що описують різні рівні наукового пізнання та технологічної практики, з метою забезпечення логічної послідовності аналізу й уникнення спрощеного або редукціоністського тлумачення предмета дослідження.

У межах даного дослідження поняття нанонаука, наноматеріалознавство та нанотехнології розглядаються не як тотожні або взаємозамінні, а як такі, що

репрезентують різні рівні опису та аналізу явищ, пов’язаних із дослідженням і використанням нанорозмірних об’єктів (Рис. 1.1).

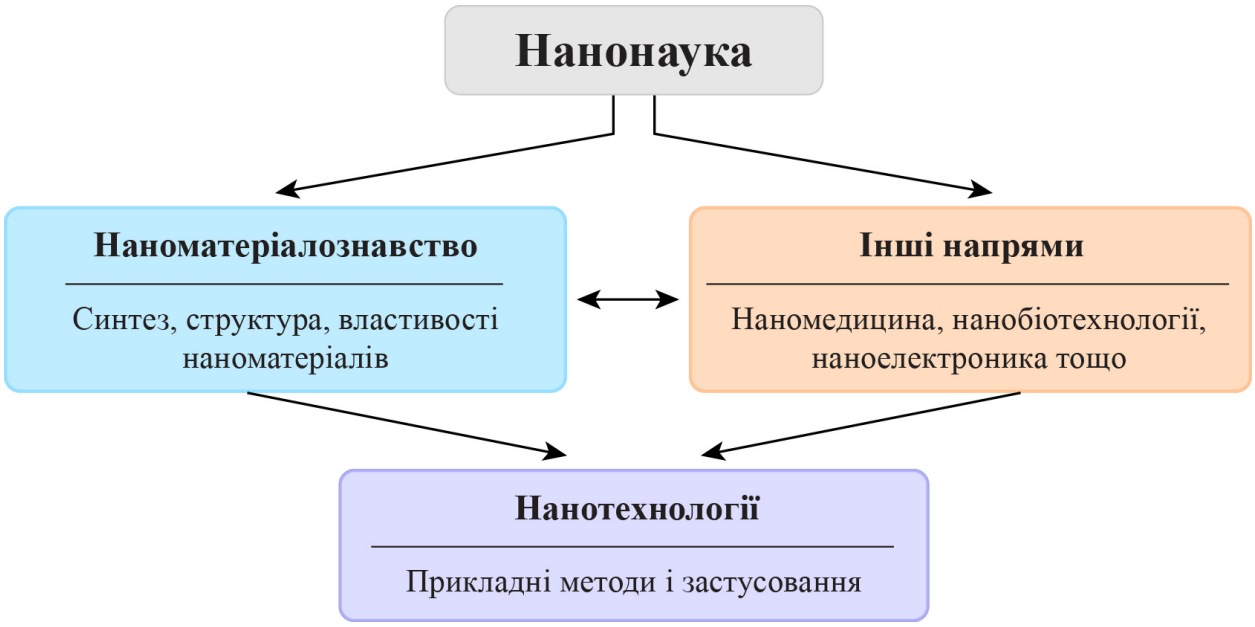

Рис. 1.1. Ієрархічно-функціональний зв’язок нанонауки, наноматеріалознавства та нанотехнологій

Представлена схема ілюструє ієрархічно-функціональний зв’язок між нанонаукою, наноматеріалознавством та нанотехнологіями. Нанонаука репрезентує фундаментальний рівень дослідження явищ і процесів на нанорівні, формує теоретичне й методологічне підґрунтя для прикладних напрямів та постає як міждисциплінарне дослідницьке поле, у якому поєднуються фізика твердого тіла, хімія, матеріалознавство, біологія, медицина та інженерні науки. Її ключовою особливістю є інтеграція різних теоретичних моделей, експериментальних підходів і методів характеризації.

У цьому контексті принциповим є те, що нанонаука не може бути зведена до окремої дисципліни з чітко окресленими межами. Навпаки, вона функціонує як епістемологічний простір перетину, у межах якого формуються нові дослідницькі практики, гібридні методи та міждисциплінарні команди (Roco, 2011; Nordmann, 2004, 2008). Саме це зумовлює складність не лише класифікації наукових результатів, а й визначення професійних ролей і компетентностей фахівців, залучених до нанонаукових досліджень.

У межах нанонауки наноматеріалознавство виокремлюється як доменно-орієнтована область, зосереджена на синтезі, характеризації та дослідженні властивостей наноматеріалів з урахуванням розмірних і поверхневих ефектів (Suchikova et al., 2024 a, b, c). На відміну від класичного матеріалознавства, наноматеріалознавство акцентує увагу на ролі розмірних ефектів, поверхневих станів, дефектної структури та міжфазних взаємодій, що визначають макроскопічні властивості матеріалів (ISO, 2023; ASTM International, 2020). Саме в межах наноматеріалознавства найбільш чітко проявляється зв'язок між фундаментальними дослідженнями та інженерними застосуваннями – від напівпровідникових гетероструктур і фотонних матеріалів до функціональних оксидів, композитів і матеріалів для енергетики.

Нанотехнології, у свою чергу, відображають технологічний вимір та забезпечують практичну реалізацію результатів нанонаукових і наноматеріалознавчих досліджень у різних галузях науки, техніки та промисловості, демонструючи сукупність методів, процесів і технологічних рішень, що забезпечують кероване створення, модифікацію та використання об'єктів з характерними розмірами в нанодіапазоні (ISO, 2023; ASTM International,2020). У цьому сенсі нанотехнології часто постають як технологія загального призначення, що інтегрується в різні галузі, не формуючи самостійного ізольованого сектора, а радше трансформуючи наявні науково-технічні практики.

Нанотехнології, які характеризуються маніпулюванням і застосуванням матеріалів у нанорозмірі (Сичікова та ін., 2025 a, b), мають величезний потенціал для революції в різних секторах у тому числі значного внеску в досягнення Цілей сталого розвитку (рис. 1.2). Ці передові технології перетинаються зі сталим розвитком, пропонуючи інноваційні рішення для деяких із найактуальніших глобальних проблем, включаючи погіршення стану навколишнього середовища, кризи здоров'я, дефіцит енергії тощо (Kumar et al., 2024; Khan et al., 2025; Elzein, 2024). Унікальна здатність нанотехнологій працювати на атомарному або молекулярному рівні відкриває безпрецедентні

можливості для покращення функціональності продукту та створення нових матеріалів і процесів, які є більш ефективними, менш ресурсомісткими та екологічно чистими (Suchikova et al., 2025 a, b, c, d; Сичікова та ін., 2023 a-f). У контексті даного дослідження зазначені напрями застосування розглядаються як професійне середовище реалізації діяльності фахівців з наноматеріалознавства.

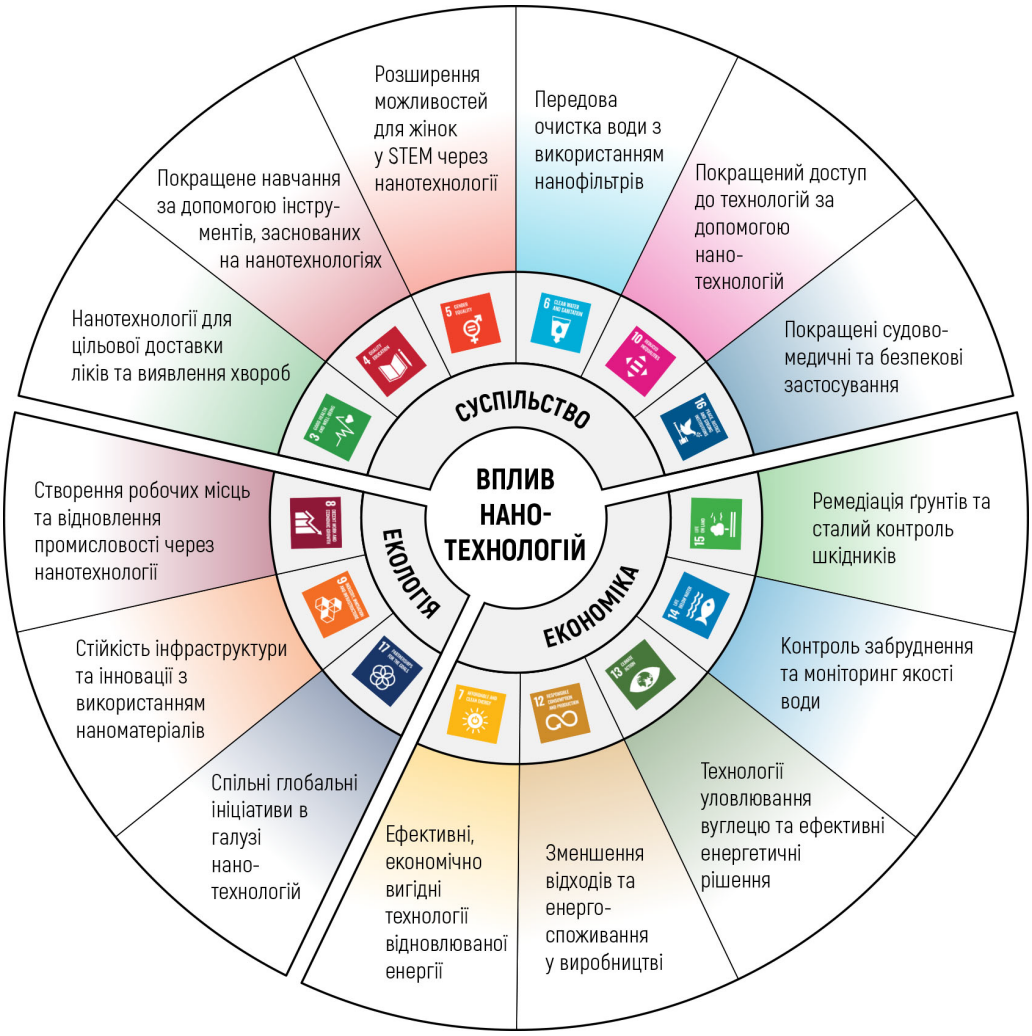

Рис. 1.2. Професійне середовище реалізації діяльності фахівців у галузі наноматеріалознавства

Нанотехнології мають глобальний вплив, відзначаючи їхню присутність майже в кожній галузі завдяки різнобічним застосуванням. Будучи наріжним каменем сучасного технологічного прогресу, вони змінюють принципи роботи галузей, сприяючи значному покращенню ефективності, безпеки та стійкості (Nyandoro et al., 2025). Це широке впровадження підкреслює ключову роль технологій не лише в розширенні можливостей галузі, але й у вирішенні

нагальних глобальних викликів. Завдяки всебічній інтеграції в різні сфери, від медицини та сільського господарства до енергетики та виробництва, нанотехнології визнані ключовим фактором на шляху до досягнення сталого розвитку в усьому світі (Khatoon & Velidandi, 2025).

Ринок праці в сфері нанотехнологій розширюється завдяки постійному науково-технічному прогресу та комерційному застосуванню інноваційних продуктів (Stephan et al., 2007; Invernizzi, 2011). А отже виникає попит на кваліфікованих фахівців, які володіють спеціальними навичками та можуть сприяти реалізації інноваційного потенціалу галузі (Бардус, 2022 b).

У своїй основі нанотехнології значною мірою спираються на технічні та природничі науки, включаючи фізику, хімію, біологію та інженерію (Pektas et al., 2015). Ці фундаментальні науки дозволяють фахівцям в галузі наноматеріалознавства маніпулювати матерією на молекулярному та атомному рівнях, створюючи матеріали та пристрої з покращеними властивостями та функціями. Окрім цього, галузь все більше спирається на інформатику та інформаційні технології, оскільки нанорозмірні пристрої часто вимагають складних алгоритмів для роботи та керування даними (Roco & Bainbridge, 2003).

Крім того, застосування нанотехнологій часто поширюється на сферу медичних і фармацевтичних наук, особливо в доставці ліків і діагностиці, тісно пов’язуючи їх із охороною здоров’я та біоінженерією (Abdulraheem et al., 2026; Zhao et al., 2026). Наука про навколишнє середовище є ще однією важливою сферою, де нанотехнології використовуються для контролю забруднення, очищення води та стійких енергетичних рішень (Anas et al., 2026).

Проте сфера застосування нанотехнологій не обмежується лише науково-технічними дисциплінами. Вона також охоплює соціальні науки, етику та формування політики (Viseu & Maguire; 2012; Viseu, 2015). Суспільні наслідки впровадження нанотехнологій, такі як проблеми конфіденційності з нанодатчиками або вплив наночастинок на здоров’я, вимагають ретельного

вивчення та розуміння з боку соціологів та етиків (Khan, 2015). Політологія також відіграє певну роль, зокрема у формуванні політики, яка регулює використання, розповсюдження та етичні міркування нанотехнологічних розробок (Jotterand, 2006).

Подальше розширення сфери застосування нанотехнологій актуалізує проблему нормативного супроводу їхнього життєвого циклу. Попри зростання кількості продуктів, що містять наноматеріали, регуляторні рамки їх виробництва, використання та утилізації залишаються недостатньо усталеними. У науковій літературі наголошується на потребі розроблення підходів до оцінювання впливу наноматеріалів на здоров'я людини та навколишнє середовище на всіх етапах їхнього життєвого циклу – від синтезу до утилізації. У зв'язку з цим етичний дискурс у сфері нанотехнологій виходить далеко за межі екологічних ризиків і охоплює також питання безпеки, конфіденційності, суспільного прийняття та відповідального використання інновацій. За таких умов формування фахівця у галузі наноматеріалознавства неможливо розглядати поза контекстом нормативної невизначеності, етичних обмежень і вимоги до відповідальної професійної поведінки.

Отже, у межах розгляду тріади «нанонаука – наноматеріалознавство – нанотехнології» наноматеріалознавство постає як ключова ланка, що поєднує фундаментальні нанонаукові знання з їх практичною реалізацією. Воно функціонує як операціоналізована форма професійної діяльності фахівця, інтегрована в нанонаукову парадигму та реалізована за допомогою інструментарію нанотехнологій, забезпечуючи трансфер знань від теоретичного осмислення до технологічного застосування.

Як показують сучасні аналітичні огляди та емпіричні дослідження професійних траєкторій у нанонауці, спроби дати однозначне визначення фахівця в цій галузі стикаються з суттєвими методологічними труднощами (Fuhrmann-Lieker, 2024). Це зумовлено щонайменше трьома чинниками. По-перше, міждисциплінарний характер нанонауки розмиває традиційні межі між

фізиком, хіміком, матеріалознавцем, інженером тощо. По-друге, нанотехнології інтегруються в різні галузі промисловості й науки, що призводить до відсутності уніфікованих назв посад і стандартних професійних профілів. По-третє, динаміка розвитку галузі спричиняє постійне оновлення вимог до знань, умінь і відповідальності фахівців.

У цьому сенсі показовими є висновки, зроблені в роботі Фурманна-Лікера «Нанонаука чи нанонауки» (2024), де підкреслюється, що нанонаука формує не стільки окрему професію, скільки простір професійних ролей, у межах якого фахівець може поєднувати дослідницькі, інженерні, аналітичні та регуляторні функції. Автор аргументує, що спроби жорсткої класифікації таких фахівців є менш продуктивними, ніж підхід, орієнтований на компетентності, контексти діяльності та етапи технологічного циклу.

Отже, на рівні теоретичного аналізу доцільно говорити не про «наноінженера» чи «нанотехнолога» у вузькому розумінні, а про майбутнього фахівця у галузі наноматеріалознавства як частини ширшої нанонаукової екосистеми. Такий фахівець характеризується здатністю працювати на перетині фундаментальних і прикладних досліджень, інтегрувати знання з різних дисциплін, використовувати сучасні методи синтезу й характеризації наноматеріалів, а також усвідомлювати етичні, екологічні та соціальні наслідки впровадження нанотехнологій.

Проте принципово важливо підкреслити, що у сучасних національних та міжнародних класифікаторах професій відсутня чітко окреслена професія «фахівець з наноматеріалознавства» або «спеціаліст з нанонауки» або «наноінженер» як самостійна, стандартизована спеціальність. Нанотехнології не формують окремого професійного поля з власною замкненою траєкторією підготовки, а функціонують як інтегративний інструментарій і дослідницька парадигма, що вбудовується в різні галузі знань і практики. Відповідно, особи, які у своїй професійній діяльності працюють з наноматеріалами, наноструктурами або нанорозмірними ефектами, далеко не завжди мають

формальну освіту за спеціальністю, безпосередньо пов’язаною з нанотехнологіями.

На практиці до такої діяльності залучаються фахівці з різних базових сфер діяльності – фізики, хімії, матеріалознавства, біології, медицини, екології, агрономії, інженерних та технічних наук. Саме в цих галузях активно використовуються та досліджуються наноматеріали, наноструктуровані системи та процеси, що відбуваються на нанорівні: від фізики напівпровідників і хімії поверхні до нанобіомедицини, агро- та екологічних застосувань, енергетичних і фотонних технологій.

Водночас розвиток і впровадження нанотехнологій неминуче залучає фахівців нефундаментального та неінженерного профілю – зокрема спеціалістів у сфері стандартизації та сертифікації, технічного регулювання, оцінки ризиків, біо- та техноетики, екологічної експертизи, наукової політики та управління інноваціями (Лопатіна та ін., 2024). Їхня діяльність пов’язана з формуванням нормативних рамок, етичних обмежень і процедур відповідального використання нанотехнологій, що визначають допустимі напрями їх розробки та застосування.

Актуальність участі таких фахівців посилюється тим, що нормативне забезпечення нанотехнологій і досі не встигає за темпами їхнього розвитку. Саме тому питання оцінювання ризиків, контролю безпеки, відповідального впровадження та етичного супроводу інновацій набувають не периферійного, а системного значення в сучасній нанонауковій екосистемі.

Таким чином, залучення до нанонаукової діяльності визначається не стільки назвою дипломної спеціальності, скільки змістом професійної практики, спектром застосовуваних методів, а також рівнем відповідальності за наукові, технологічні та суспільні наслідки використання наноматеріалів.

У межах цього дисертаційного дослідження під фахівцем у галузі наноматеріалознавства розуміється не носій формально закріпленої професійної кваліфікації, а спеціаліст, який у своїй науковій, інженерній або прикладній діяльності систематично працює з наноматеріалами,

наноструктурами чи нанорозмірними ефектами та використовує відповідний методологічний і технологічний інструментарій. Такий фахівець може мати різну базову освіту, проте його професійну ідентичність визначає здатність: оперувати понятійним апаратом нанонауки; застосовувати методи синтезу, модифікації та характеризації наноматеріалів; інтегрувати знання з кількох дисциплін для розв'язання комплексних наукових і технологічних завдань; оцінювати потенційні ризики, етичні обмеження та соціально-екологічні наслідки використання нанотехнологій.

Саме таке функціонально й компетентнісно орієнтоване визначення дозволяє адекватно відобразити реальну багатогранність професійних траєкторій у нанонауці і нанотехнологіях та створює теоретичне підґрунтя для подальшого аналізу готовності майбутніх фахівців до професійної діяльності в цій динамічній і міждисциплінарній галузі, що охоплює фахові знання, практичні навички, міждисциплінарну інтеграцію, комунікативні та етичні складові. Однак, окреслена складність і багаторівневість професійного середовища діяльності майбутніх фахівців з наноматеріалознавства зумовлює необхідність звернення до сучасних підходів визначення рамки їх загальних та спеціальних компетентностей, які слугують структурно-змістовою основою формування їхньої професійної готовності. У цьому контексті готовність постає не як абстрактний стан, а як цілісна характеристика особистості майбутнього фахівця, що виявляється через рівень сформованості відповідних компетентностей і здатність ефективно реалізовувати їх у реальних професійних ситуаціях.

Проблема визначення рамки загальних та спеціальних компетентностей для майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства ускладнюється кількома факторами. По-перше, сектор перебуває на етапі переходу від фундаментальних досліджень до практичних застосувань. Ця зміна потребує переоцінки навичок, які є найбільш актуальними, оскільки фахівці тепер мають подолати розрив між теоретичними знаннями та реальним впровадженням. Традиційний акцент на фундаментальних дослідницьких

навичках повинен бути збалансований з практичними компетенціями у застосуванні нанотехнологічних інновацій у промисловості та інших прикладних умовах.

Враховуючи мультидисциплінарний характер галузі наноматеріалознавства, фахівці повинні продемонструвати широкий спектр фахових знань, аналітичних навичок для вирішення складних завдань і професійних проблем; розрахунок і моделювання нанооб'єктів; використання лабораторних методів та обладнання, а також здатність до інновацій та адаптації до нових науково-технічних викликів. Спільний та міждисциплінарний характер роботи в галузі наноматеріалознавства вимагає спілкування, командної роботи та навичок управління проєктами. Крім того, в останні роки все більше уваги приділяється етичним наслідкам (Mahendra et al., 2023; Maynard & Stilgoe, 2020), ризикам (Khadanga & Mishra, 2024) і відповідальному поводженню з нанотехнологіями (Brouwer et al, 2009; Kuzma & Kuzhabekova, 2011). Потенційний вплив наноматеріалів і процесів на здоров'я, безпеку та навколишнє середовище породив серйозні етичні та суспільні дискусії, що призвело до хвилі досліджень, зосереджених на етичній відповідальності фахівців у галузі наноматеріалознавства (McGinn, 2010; Malakar et al., 2022).

Визначення всебічного набору навичок для фахівців у галузі наноматеріалознавства є складним за своєю суттю через міждисциплінарний характер нанотехнологій (Finardi & Lamberti, 2021; Li et al., 2023). Нанонаука охоплює широкий спектр дослідницьких областей, кожна зі своїми унікальними методологіями, технологіями та застосуваннями (Egan et al., 2023; Kumari et al., 2023 a, b). Ця різноманітність вимагає динамічного та адаптивного набору навичок, який може задовольнити потреби різних підгалузей нанонауки. До розуміння необхідних навичок майбутніх фахівців у галузі наноматеріалонавства можна використовувати різні підходи. Враховуючи складність і міждисциплінарний характер нанотехнологій, для всебічного визначення та оцінки необхідних навичок для майбутніх фахівців

необхідні різні перспективи. Нижче наведено підходи до визначення рамки загальних та спеціальних компетентностей майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства (Табл. 1.1). Кожен підхід забезпечує унікальне розуміння та підкреслює різні аспекти професійного розвитку, що відображає різноманітні вимоги та застосування в галузі нанонауки. Розуміння та інтеграція цих різноманітних підходів може допомогти створити надійну основу для підготовки фахівців з наноматеріалознавства.

Таблиця 1.1

Підходи до визначення рамки загальних та спеціальних компетентностей майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Мульти-дисциплінарний підхід (ґрунтується на інтеграції фундаментальних і прикладних наук, що лежать в основі наноматеріало-знавства)	**Процесно-орієнтований підхід** (акцентує увагу на етапах професійної діяльності фахівця з наноматеріало-знавства)	**Рольовий підхід до визначення навичок** (враховує професійні ролі та умови діяльності фахівця з наноматеріало-знавства)	**Доменно-специфічний підхід** (структурує наноматеріало-знавство за спеціалізованими напрямами)
– Інженерія – Хімія – Біологія – Фізика – Медицина	– Дослідження та розроблення – Промислове впровадження – Концептуалізація – Пілотні дослідження	– Фахівці з контролю якості та нормативного забезпечення наноматеріалів – Дослідники та науковці у галузі наноматеріало-знавства – Лабораторні техніки – Інженери-матеріалознавці – Керівники науково-технологічних проєктів – Викладачі та науково-педагогічні працівники	– Синтез і характеризація наноматеріалів – Наноматеріали для енергетичних застосувань – Наноелектронні матеріали – Нанофотонні матеріали – Біомедичні наноматеріали – Нанобіоматеріали

Мультидисциплінарний підхід заснований на принципах різних наук, який враховує як наукові основи, так і технологічні процеси нанонауки (Milojević, 2012). З наукової точки зору нанотехнології – це за своєю суттю мультидисциплінарна галузь, що базується на принципах фізики, хімії, біології, медицини та техніки (Bensaude-Vincent, 2016). Фахівці повинні володіти здатністю до інтеграції цих дисциплін для розробки інноваційних рішень. Наприклад, фахівцю в галузі нанонауки може знадобитися застосувати принципи фізики та хімії для синтезу нових наноматеріалів (Revenko et al., 2026) і використовувати біологічні знання для розуміння їх взаємодії з біологічними системами (Vanasupa et al., 2006), що свідчить про необхідність формування інтегрованих міждисциплінарних компетентностей. Таким чином, рамка загальних та спеціальних компетентностей має бути достатньо повною, щоб забезпечити плавну навігацію цими науковими галузями, зокрема щодо галузі наноматеріалознавства.

Фізика відіграє вирішальну роль у нанотехнологіях, надаючи фундаментальне розуміння поведінки матеріалів у нанорозмірі (Buot, 1993). Розуміння квантової механіки, термодинаміки та електромагнетизму має важливе значення для прогнозування та маніпулювання властивостями наноматеріалів. Наприклад, квантова механіка пояснює електронні властивості наноструктур, що є важливим для розвитку наноелектроніки (Weinbub & Kosik, 2022). Термодинаміка та електромагнетизм допомагають зрозуміти процеси передачі енергії та взаємодію наноматеріалів з електромагнітними полями, які мають вирішальне значення для застосування в енергетиці та фотоніці (Mollaamin & Monajjemi, 2024; Sorensen & Johansen, 2016; Kolomoets, 2023, 2024, 2025).

Хімія є фундаментальною для синтезу та характеристики наноматеріалів. Знання хімічних зв’язків, реакційної здатності та молекулярних взаємодій є важливими для розробки та створення нових наноструктур із певними властивостями (Usseinov et al., 2021). Такі методи, як хімічне осадження з парової фази (Sabzi et al., 2016), золь-гель синтез (Alabada

et al., 2023) і електрохімічне травлення , значною мірою покладаються на хімічні принципи (Kovachov et al, 2023). Крім того, розуміння хімії поверхні має вирішальне значення для модифікації наноматеріалів для досягнення бажаних функціональних можливостей і для характеристики їх взаємодії з іншими речовинами (Suchikova et al., 2025b).

Біологія дає зрозуміти взаємодію між наноматеріалами та біологічними системами. Ці знання мають вирішальне значення для застосувань у наномедицині, таких як доставка ліків (Kong et al., 2023), діагностичні інструменти та терапевтичні засоби (San Valentin et al., 2022). Розуміння клітинних процесів, молекулярної біології та біосумісності має важливе значення для розробки наноматеріалів, які можуть безпечно та ефективно взаємодіяти з біологічними тканинами (Pandey, 2022). Крім того, знання про біомолекулярні взаємодії допомагають у розробці біосенсорів та інших діагностичних пристроїв (Plikusiene & Ramanaviciene, 2023).

Медицина інтегрує нанотехнології з програмами охорони здоров'я, наголошуючи на розробці наноматеріалів і нанопристроїв для медичних цілей. Знання анатомії, патології та фармакології людини необхідні для розробки наномедичних рішень (Han et al., 2023). Наприклад, розуміння механізмів захворювання на молекулярному рівні може керувати розробкою цільових систем доставки ліків, які покращують ефективність лікування та зменшують побічні ефекти (Cheng et al., 2023). Крім того, важливо враховувати потенційні ризики та етичні міркування, пов'язані з використанням нанотехнологій в охороні здоров'я (Molahalli et al., 2023; Araste et al., 2023).

Машинобудування, матеріалознавство та електротехніка надають інструменти та методології для проєктування та виготовлення нанопристроїв (Kumar et al., 2024). Навички обчислювального моделювання, розробки процесів та системної інтеграції є важливими для поширення нанотехнологічних інновацій від лабораторії до промислового виробництва (Ahkami et al., 2023). Інженери також повинні розуміти нормативні стандарти

та заходи контролю якості, щоб забезпечити безпеку та надійність продуктів нанотехнологій (Vambol et al., 2017).

Теоретично цей міждисциплінарний підхід підкреслює потребу у всебічному наборі навичок, який подолає розрив між фундаментальними науковими принципами та практичними технологічними застосуваннями. Майбутні фахівці у галузі наноматеріалознавства повинні володіти досвідом інтеграції знань з фізики, хімії, біології, медицини та інженерії для розробки інноваційних рішень. Це всебічне розуміння дозволяє їм орієнтуватися в складнощах нанотехнологій і вирішувати унікальні проблеми, пов'язані з кожною областю застосування.

Процесно-орієнтований підхід до визначення рамки загальних та спеціальних компетентностей висвітлює різні етапи, на яких може бути залучений фахівець в галузі наноматеріалознавства, від концептуалізації до повномасштабного виробництва (Lager & Liiri, 2023). Ці етапи часто включають концептуалізацію, дослідження та розробки, пілотні дослідження та повномасштабне виробництво (Peng et al., 2022). На кожному етапі роль і необхідні навички фахівця в галузі наноматеріалознавства можуть істотно відрізнятися. Наприклад, фаза концептуалізації може наголошувати на творчості та теоретичних знаннях, де основна увага приділяється створенню інноваційних ідей та розумінню фундаментальних принципів, що лежать в основі потенційних застосувань нанотехнологій. Цей етап вимагає сильних аналітичних навичок і навичок вирішення проблем, а також здатності синтезувати інформацію з різних наукових дисциплін, щоб запропонувати нові концепції.

На стадії досліджень і розробок необхідні навички переходять у бік експериментального дизайну, лабораторних методів та аналізу даних (Szczyglewska et al., 2023). Фахівці повинні володіти навичками використання передових інструментів, проведення експериментів та інтерпретації результатів для вдосконалення та перевірки своїх концепцій (Chen et al., 2024). Цей етап вимагає прискіпливої уваги до деталей, критичного мислення та

здатності виявляти несправності та оптимізувати експериментальні процедури.

На етапі пілотних досліджень фокус зміщується в напрямку розширення технології від лабораторних експериментів до дрібносерійного виробництва (Omietimi et al., 2023). Цей етап потребує навичок у розробці процесу, розробці прототипу та попередньому тестуванні, щоб переконатися, що технологія може бути надійно виготовлена та відповідає необхідним критеріям ефективності (Roco, 2003). Навички співпраці та управління проєктами стають дедалі важливішими, оскільки міждисциплінарні команди працюють разом, щоб вирішувати технічні проблеми та інтегрувати різні аспекти технології (Motoyama, 2014).

Нарешті, на етапі повномасштабного виробництва принциповими стають аспекти контролю якості (Lu et al., 2009), оптимізації процесу та дотримання нормативних вимог (Soltani & Pouypouy, 2019). Фахівці повинні глибоко розуміти виробничі процеси, стандарти та правила, щоб забезпечити ефективне та безпечне виробництво технології в промислових масштабах. Цей етап вимагає навичок із забезпечення якості, управління виробництвом і здатності впроваджувати стратегії постійного вдосконалення для підтримки високих стандартів і адаптації до вимог ринку.

Отже, процесно-орієнтований підхід вимагає динамічного набору навичок, який узгоджується з розвитком нанотехнологій від початку до готових до ринку продуктів. У ньому визнається, що різні етапи технологічного процесу вимагають різних компетенцій, і підкреслюється важливість адаптованої освітньої та навчальної структури, яка готує майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до конкретних завдань і обов’язків, з якими вони стикаються на кожному етапі.

Рольовий підхід до визначення рамки загальних та спеціальних компетентностей розглядає професійні ролі та робоче середовище фахівців у галузі наноматеріалознавства, щоб забезпечити інший вимір для визначення основних навичок. Вони можуть займати різні ролі, включаючи техніків,

лабораторних дослідників, інженерів, менеджерів, фахівців з контролю якості та регулювання, а також викладачів (Weil, 2003). Кожна роль вимагає певного набору навичок і компетенцій, адаптованих до її унікальних обов'язків і викликів. Подібного підходу дотримувалася Malsch (2014). Вона задавалася питанням про те, які навички, специфічні для нанотехнологій, потрібні в для фахівців, які працюють в непромислових, неакадемічних і неіндустріальних сферах. Наприклад, дослідник лабораторії (науковець) може в першу чергу зосередитися на плануванні експерименту, аналізі даних і використанні передового обладнання (Fonash, 2001). Ця роль вимагає сильних аналітичних навичок, майстерності в різних лабораторних методах і здатності точно інтерпретувати складні дані. Дослідники також повинні бути в курсі останніх наукових досягнень і мати можливість впроваджувати інновації у своїй галузі.

Натомість фахівцям із регуляторних органів потрібен досвід у сфері відповідності та стандартів безпеки. Вони повинні знати законодавчу та нормативну базу, що регулює нанотехнології (Allan et al., 2021), гарантуючи, що продукти відповідають усім стандартам безпеки та ефективності, перш ніж вони потраплять на ринок. Ця роль вимагає прискіпливої уваги до деталей, розуміння управління ризиками та вміння орієнтуватися в складних нормативних ландшафтах.

Інженери в галузі нанотехнологій орієнтуються на практичне застосування наукових відкриттів (Husnain & Tayyiba, 2022). Їх робота включає проєктування, розробку та оптимізацію нанопристроїв і матеріалів. Ця роль вимагає навичок інженерії процесів, системної інтеграції та вирішення проблем. Інженери також повинні ефективно співпрацювати з міждисциплінарними командами для перетворення теоретичних концепцій у функціональні продукти.

Менеджери та спеціалісти з контролю якості мають важливе значення для нагляду за процесом виробництва та забезпечення відповідності продукції високим стандартам якості (Pushparaj et al.). Менеджерам потрібні навички лідерства, управління проєктами та стратегічного планування, щоб ефективно

координувати команди та ресурси (Shea, 2005). Фахівці з контролю якості, з іншого боку, потребують досвіду в методологіях забезпечення якості, статистичному контролі процесів і методах постійного вдосконалення для підтримки стандартів продукції та її відповідності.

Педагоги відіграють вирішальну роль у підготовці наступного покоління фахівців, зокрема у галузі наноматеріалознавства (Popova et al., 2023). Їм потрібні міцні комунікативні навички, глибоке розуміння принципів нанонауки, а також здатність розробляти та проводити комплексні освітні програми (Roco,2003). Педагоги також повинні бути в курсі останніх досліджень і технологічних досягнень, щоб надати студентам актуальні та відповідні знання.

Саме робоче середовище може суттєво відрізнятися, від академічних дослідницьких лабораторій до промислових установок, кожна з яких пред'являє свої унікальні вимоги та виклики. Академічні середовища можуть наголошувати на фундаментальних дослідженнях, інноваціях і поширенні знань (Schultz, 2010), тоді як промислові середовища зосереджуються на застосуванні, комерціалізації та масштабуванні продуктів нанотехнологій (Kaur et al., 2014). Фахівці повинні адаптувати свої навички відповідно до цих умов, незалежно від того, чи йдеться про проведення передових досліджень, оптимізацію виробничих процесів або забезпечення відповідності та безпеки продукції.

Отже, рольовий підхід до визначення рамки загальних та спеціальних компетентностей майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства підкреслює потребу в різноманітному наборі навичок, адаптованому до конкретних професійних ролей і робочого середовища. Визнаючи різні навички, необхідні для кожної посади, цей підхід гарантує, що фахівці добре підготовлені, щоб відповідати вимогам своїх посад і ефективно сприяти розвитку нанотехнологій. Це підкреслює важливість спеціалізованої підготовки та освіти, яка узгоджується з різноманітними обов'язками в галузі,

сприяючи формуванню робочої сили, здатної рухати інновації та вирішувати практичні виклики нанотехнологій у різних секторах.

Іншим цінним підходом до визначення рамки загальних та спеціальних компетентностей майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства є доменно-специфічний підхід. Цей метод передбачає класифікацію нанонауки на різні спеціалізовані галузі, такі як наноелектроніка , синтез і характеризація наноматеріалів, нанофотоніка, нанобіологія, наномедицина , нанотехнології для енергетики та інші (Aftab et al., 2023; Kovachov et al., 2022; 2024). Кожна область має унікальні наукові принципи, технологічні вимоги та практичне застосування, що вимагає спеціального набору навичок для фахівців.

У наноелектроніці, наприклад, фахівці повинні володіти фізикою напівпровідників, технікою виготовлення нанооб'єктів, а також розробкою та інтеграцією нанорозмірних електронних пристроїв. Ця область вимагає глибокого розуміння квантової механіки, фізики твердого тіла та передового матеріалознавства. Наприклад, навички літографії, електронної мікроскопії та аналізу морфології поверхонь є вирішальними для розробки електронних компонентів нового покоління, які використовують унікальні властивості наноматеріалів.

У синтезі та характеризації наноматеріалів фокус зміщується на створення та аналіз нових наноструктур. Фахівці повинні оволодіти методами хімічного синтезу, такими як золь-гель процеси, хімічне осадження з парової фази та методи самозбірки (Mastrangeli et al., 2009). Навички визначення характеристик передбачають використання таких інструментів, як атомно-силова мікроскопія, трансмісійна електронна мікроскопія та рентгенівська дифракція для дослідження властивостей і поведінки наноматеріалів. Цей домен наголошує на здатності маніпулювати матеріалами на атомарному рівні та розуміти їхні зв'язки між структурою та властивостями.

Так, наприклад, нанофотоніка (Koenderink et al., 2015), яка досліджує взаємодію світла з наноструктурами, вимагає досвіду в оптиці, фотоніці та матеріалознавстві. Необхідні також навички проектування та виготовлення

фотонних пристроїв, таких як квантові точки та плазмонні структури . Розуміння принципів взаємодії світла та матерії на нанорозмірі дозволяє фахівцям розробляти передові програми для зображень, зондування та обробки інформації.

Нанобіологія та наномедицина поєднують нанотехнології з біологічними та медичними науками, зосереджуючись на застосуванні наноматеріалів і нанопристроїв у сфері охорони здоров'я (Yi & Xianyu, 2022). Ця область вимагає знань клітинної біології, біохімії та молекулярної біології, а також навичок у системах доставки ліків, діагностичних інструментів і терапевтичних методів. Фахівці повинні вміти розробляти біосумісні наноматеріали і розуміти їх взаємодію з біологічними системами для розробки інноваційних методів лікування та діагностики.

Нанотехнології, пов'язані з енергетикою, включають розробку нових матеріалів і пристроїв для перетворення, зберігання та ефективності енергії. Ця область вимагає навичок у матеріалознавстві та електрохімії. Фахівці повинні володіти навичками розробки наноструктурних матеріалів для таких застосувань, як сонячні елементи, батареї та суперконденсатори (Yang et al., 2022). Розуміння принципів передачі та зберігання енергії на нанорозмірі має вирішальне значення для розвитку технологій сталої енергетики.

Отже, доменно-специфічний підхід теоретично обґрунтовує потребу в диверсифікованому наборі навичок, визнаючи унікальні вимоги та застосування кожної спеціалізованої галузі в нанонауці. Він визнає, що хоча базове розуміння принципів нанотехнологій є важливим, фахівці також повинні розвивати спеціальну експертизу, щоб досягти успіху у своїх галузях. Цей підхід гарантує, що освітні програми розроблені таким чином, щоб надати майбутнім фахівцям в галузі наноматеріалознавства професійні навички, необхідні для обраної ними спеціальності, тим самим підвищуючи їхню ефективність та інноваційний потенціал у професійній діяльності. Цей цілеспрямований розвиток навичок має вирішальне значення для розвитку галузі нанонауки та максимізації впливу нанотехнологій у різноманітних

сферах застосування, від електроніки та охорони здоров'я до енергетики та екологічної стійкості.

Таким чином, аналіз підходів до визначення рамки загальних та спеціальних компетентностей фахівців у галузі наноматеріалознавства демонструє їхню значну різноманітність та відсутність універсального узгодженого переліку компетентностей. Мультидисциплінарний підхід акцентує інтеграцію знань і методів суміжних наук; процесно-орієнтований – трансформацію ролей і компетенцій на різних етапах технологічного ланцюга від концептуалізації до промислового масштабування; рольовий – залежність навичок від професійних функцій і робочого середовища; доменно-специфічний – потребу в спеціалізованій експертизі відповідно до конкретних напрямів нанонауки (наноелектроніка, нанофотоніка, синтез і характеризація наноматеріалів, наномедицина тощо). Кожен із цих підходів є методологічно обґрунтованим і відображає реальні вимоги певних сегментів діяльності у галузі наноматеріалознавства, однак жоден не може бути визнаний «оптимальним» поза контекстом конкретних цілей підготовки, професійних сценаріїв та середовища застосування компетентностей.

Різноманітність підходів зумовлена, насамперед, природою нанонауки як міждисциплінарної та динамічної сфери, що одночасно розвивається у фундаментальному та прикладному вимірах. По-перше, нанотехнології поєднують різні наукові традиції, мови опису та методології, що ускладнює редукцію професійної компетентності до одномірного набору навичок. По-друге, сама галузь перебуває у стані швидкої еволюції – від лабораторних досліджень до комерціалізації, стандартизації, регуляторного контролю та масштабування виробництва – що змінює профіль затребуваних компетентностей у часі. По-третє, нанонаука охоплює широкий спектр доменів і сфер застосування, де різняться не лише технічні інструменти, а й критерії результативності, пріоритети безпеки, вимоги до якості та інституційні рамки (академічні, промислові, регуляторні, освітні).

Саме ця методологічна множинність створює проблему для проєктування освітніх програм і побудови моделі підготовки: за відсутності узгодженого розуміння того, які компетентності є загальними та спеціальними для фахівців у галузі наноматеріалознавства, складно забезпечити валідність цілей навчання, критеріїв оцінювання та очікуваних результатів підготовки. Крім того, для освітнього контексту принципово важливо відрізняти теоретичну повноту рамки навичок від її релевантності реальним професійним запитам: перелік компетентностей має бути не лише «всеохопним», а й відображати пріоритети ринку праці, потреби науково-дослідного сектору та очікування суспільства щодо відповідального використання нанотехнологій.

З огляду на зазначене, у даному дослідженні застосовується підхід, що поєднує опитування стейкхолдерів та експертне оцінювання за методологією Делфі для уточнення та верифікації рамки загальних та спеціальних компетентностей майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Логіка такого вибору полягає в тому, що саме стейкхолдери (представники академічного середовища, індустрії, здобувачі, політики/адміністратори, експерти з етики) фіксують реальні професійні очікування, тоді як експертний консенсус дозволяє знизити випадковість індивідуальних суджень та отримати узгоджене бачення пріоритетних компетентностей у полі, що швидко змінюється. Відповідно, наступний етап дослідження спрямований на визначення того, які саме компоненти професійної готовності можуть бути визнані специфічними і критично значущими для майбутнього фахівця з наноматеріалознавства, а також на обґрунтування їхньої структури в межах розроблюваної рамки.

1.2. Структура готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

З огляду на міждисциплінарний характер галузі наноматеріалознавства та її потенційний вплив на суспільство, особливої актуальності набуває дослідження балансу між технічними навичками та ширшими

компетентностями. До таких компетентностей належать критичне мислення, інтеграція знань і етична відповідальність, які відіграють визначальну роль у формуванні майбутнього нанонауки та забезпеченні її сталого розвитку.

Зважаючи на відсутність узгодженого бачення щодо структури загальних і спеціальних компетентностей майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, дослідження спрямоване на поглиблення розуміння структури та змістового наповнення їхньої готовності до професійної діяльності, а також на розвиток наукового дискурсу щодо вдосконалення освітніх програм і заходів професійної підготовки відповідно до сучасних і перспективних вимог галузі.

Для проведення дослідження було розроблено структурований опитувальник, призначений для оцінювання відносної важливості складників готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства за когнітивним, практико-операційним та мотиваційно-ціннісним компонентами (Kovachov et al., 2024). Опитувальник був розділений на кілька секцій, кожна з яких охоплювала один із трьох основних компонентів готовності до професійної діяльності. Учасники дослідження оцінювали важливість змістовного наповнення компонентів (знання, уміння, способи діяльності, цінності, установки) за шкалою Лайкерта від 1 до 5, де 1 означало «не важливо», а 5 – «дуже важливо». Це дозволило отримати кількісні дані щодо важливості кожної групи змістовного наповнення серед різних зацікавлених сторін.

Розробка опитувальника проводилася на основі ряду критеріїв, що були визначені як ключові для вивчення змістового наповнення компонентів готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Основні критерії розробки опитувальника включали наукову обґрунтованість, практичну доцільність та відповідність цілям дослідження. Кожен етап розробки був тісно пов’язаний із потребами цільових груп зацікавлених сторін та міжнародними стандартами проведення анкетування для наукових досліджень.

Критерії розробки опитувальника

1. Релевантність до дослідницьких питань: Питання опитувальника стосувалися змістовного наповнення когнітивного, практико-операційного та мотиваційно-ціннісного компонентів готовності до професійної діяльності фахівців у галузі наноматеріалознавства. Особлива увага приділялася тому, щоб запитання безпосередньо відповідали науковій проблематиці та дозволяли кількісно оцінити важливість кожної навички для респондентів з різних професійних сфер.

2. Збалансованість та всеосяжність: Під час розробки опитувальника було створено збалансовану структуру, яка охоплювала всі ключові аспекти професійних навичок у галузі наноматеріалознавства. Було забезпечено структурованість всіх питань таким чином, щоб охопити різні рівні професійного розвитку, починаючи від аспірантів і закінчуючи досвідченими фахівцями.

3. Простота та зрозумілість: Один із ключових критеріїв полягав у тому, щоб питання були чіткими, зрозумілими та не вводили респондентів в оману. Ми уникали складних формулювань та надмірно спеціалізованої термінології, щоб забезпечити правильне розуміння питань різними групами учасників. Простота та однозначність питань були особливо важливі, оскільки опитування охоплювало різні професійні групи з різним рівнем технічної підготовки.

Структура опитувальника складалася із вступної частини, блоку когнітивного компоненту, блоку практико-операційного компоненту, блоку мотиваційно-ціннісного компоненту.

У вступі до опитувальника було представлено загальну інформацію про мету дослідження та запевнення щодо конфіденційності відповідей. Учасників було поінформовано про те, що їх участь є добровільною, а результати будуть використані виключно для наукових цілей.

Блок когнітивного компоненту містив питання, спрямовані на оцінку здатності до аналітичного мислення, знання фундаментальних концепцій

нанонауки, а також вміння використовувати новітні досягнення в цій сфері. Зокрема, учасників запитували про рівень володіння фундаментальними концепціями нанонауки; знання останніх наукових досягнень у сфері нанонауки; усвідомлення етичних аспектів та протоколів безпеки при роботі з нанотехнологіями.

Блок практико-операційного компоненту допомагав оцінити технічні компетенції, необхідні для роботи в лабораторіях та індустріальних умовах, а також уміння працювати зі спеціалізованим обладнанням. Питання стосувалися таких аспектів: володіння лабораторними методами, специфічними для нанонауки; навички експлуатації спеціалізованого обладнання; здатність планувати та проводити наукові експерименти; вміння вирішувати проблеми та застосовувати критичне мислення в дослідницькій діяльності.

Блок мотиваційно-ціннісного компоненту був спрямований на вивчення етичної відповідальності та цінностей учасників, а також їхньої мотивації до постійного навчання. Включені питання стосувалися: пристрасті до науки та дослідницької діяльності; відданості безперервному навчанню та професійному зростанню; етичної усвідомленості та відповідальності у професійній діяльності; адвокації стійких практик та усвідомлення соціального внеску нанонауки.

Учасники були відібрані з п’яти груп зацікавлених сторін, які представляють широкий спектр наукової спільноти у сфері нанонауки (Табл. 1.2). Були докладені зусилля для забезпечення різноманітної та репрезентативної вибірки, причому найбільша група складалася з академічних дослідників, враховуючи їх безпосередню участь у нанонауковій освіті та дослідженнях. Найменша група складалася з етиків, що відображало критичну роль етики в нанонауці. Зацікавлені сторони були визначені та залучені через академічні та професійні мережі, галузеві партнерства та зв’язки з освітніми закладами. Критерії відбору включали професійний досвід, внесок у

нанонауку та бажання брати участь у дослідженні. Учасниками опитування були представники з України, Казахстану, Латвії та Польщі.

Таблиця 1.2

Учасники опитування за сферою зацікавленості

Код	Стейкхолдери
Академічні дослідники	Професори та науковці в університетах і науково-дослідних установах, які активно займаються дослідженнями нанотехнологій
Фахівці	Спеціалісти компаній, які використовують нанотехнології, включаючи відділи досліджень і розробок, виробництво та розробку додатків
Здобувачі освіти	Здобувачі освіти в галузі нанонауки
Політики	Представники уряду, самоврядування залучені до формування політики в галузі науки і технологій
Етики	Експерти, які спеціалізуються на етичних і соціальних аспектах наукових досягнень, зокрема займаються етичними наслідками нанотехнологій

Щоб забезпечити широку та репрезентативну вибірку, було використано кілька каналів для набору учасників та надіслано офіційні листи через їхні організації, щоб оформити запрошення та підкреслити важливість дослідження. Крім того, було використано онлайн-анкету в Google Forms, щоб спростити процес збору даних і зробити його доступним для широкої аудиторії. Цей багатоканальний підхід допоміг подолати потенційні упередження та забезпечити різноманітний і повний набір даних. Слід зазначити, що процес відбору зіткнувся з кількома проблемами, зокрема забезпечення збалансованого представництва між групами зацікавлених сторін і подолання потенційних упереджень. Крім того, залучення спеціалістів з етики викликало труднощі через їх відносно меншу наявність у спільноті

нанонауківців, що потребувало цілеспрямованого охоплення етичних рад та професійних організацій, що спеціалізуються на етиці науки та технологій.

На етапі опитування було спочатку отримано 158 заповнених анкет від учасників із визначених груп зацікавлених сторін. Після ретельного перегляду та очищення бази даних залишилося 150 анкет для детального вивчення. Видалення певних анкет було насамперед пов'язано з такими проблемами, як неповні відповіді. Крім того, для підтримки якості даних були ретельно оцінені та виключені відповіді, які містили невідповідності або протиріччя. Розподіл респондентів за категоріями стейкхолдерів, які взяли участь в опитуванні, наведено в Таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Розподіл респондентів за категоріями стейкхолдерів

Стейхолдери	Кількість n, (%)
Академічні дослідники	68 (45,4 %)
Фахівці	27 (18 %)
Здобувачі освіти	29 (19,3 %)
Політики	17 (11,3 %)
Етики	09 (6 %)

Зібрані відповіді були оброблені з використанням статистичного програмного забезпечення для виконання описового аналізу середніх оцінок важливості кожного змістового наповнення компонентів за групами зацікавлених сторін. Було проведено розрахунки середніх та медіанних значень для кожної навички, що дозволило отримати цілісне уявлення про те, як різні групи респондентів оцінюють важливість тих чи інших навичок у професійній діяльності. Дані, зібрані під час опитувань, були проаналізовані щодо розподілу значимості змістового наповнення у когнітивному кластері серед різних груп зацікавлених сторін у сфері нанонауки. У наведеній нижче таблиці представлено середню оцінку за шкалою від 1 (не важливо) до 5 (надзвичайно важливо) за різними групами зацікавлених сторін (Табл.1.4).

Таблиця 1.4

Результати опитування блоку когнітивного компоненту

Навички	Академічні дослідники	Фахівці	Здобувачі освіти	Політики	Етики	Середнє	Медіана
Розуміння фундаментальних концепцій нанонауки	4.8	4.7	4.6	4.1	4.3	4.5	4.6
Знання останніх досягнень і проривів у нанонауці	4.7	4.8	4.5	4.2	4.3	4.5	4.6
Розуміння протоколів безпеки та етичних міркувань у нанонауці	4.6	4.6	4.2	4.7	4.8	4.58	4.58

Усі зацікавлені сторони високо оцінили розуміння фундаментальних концепцій нанонауки, причому академічні дослідники дали найвищий бал (4,8), а політики – найнижчий (4,1). Середній бал для цієї навички становив 4,5, а медіана – 4,6, що вказує на міцну згоду щодо важливості цієї фундаментальної навички. Академічні дослідники, професіонали галузі та здобувачі освіти продемонстрували найвищу відповідність, з незначним зниженням важливості, яке відзначили політики та етики. Спостережувана варіація свідчить про те, що хоча практики в цій галузі вважають її важливою, її сприймана важливість дещо зменшується серед тих, хто більше зосереджується на політичних та етичних аспектах науки.

Знання останніх досягнень і проривів у нанонауці відбувалися за подібною схемою: професіонали галузі оцінили його найвищим (4,8), а політики поставили порівняно нижчий рейтинг 4,2. Середній бал для цієї навички також становив 4,5, а медіана – 4,6, демонструючи широку згоду між групами. Цікаво, що професіонали галузі приділяли дещо більше уваги тому, щоб бути в курсі останніх подій, ймовірно, відображаючи потребу застосовувати передові досягнення в комерційних і дослідницьких умовах. Відносно нижчий бал політиків (4,2) може свідчити про те, що ця група надає

перевагу ширшим стратегічним або регуляторним проблемам над технічними досягненнями.

Розуміння протоколів безпеки та етичних міркувань у нанонауці показало дещо інший розподіл: етики та політики оцінили це найвище (4,8 та 4,7 відповідно), підкреслюючи критичну важливість цієї навички в їхніх ролях. Здобувачі освіти дали найнижчу оцінку (4,2), що вказує на можливу прогалину в акценті на етиці та безпеці під час навчання на початку кар'єри. Середній бал 4,58 і медіана 4,6 підтверджують висновок про те, що ця навичка високо цінується в усіх групах, але особливо тими, хто відповідає за керівництво та регулювання етичного та безпечного використання нанотехнологій. Результати свідчать про можливість покращити освіту та обізнаність щодо етичних міркувань і безпеки для майбутніх фахівців.

Оцінка практико-операційних навичок демонструє їх важливість для всіх груп зацікавлених сторін, хоча й з деякими варіаціями в акценті, який приділяють різні учасники. Аналіз виявляє ключові тенденції у сприйнятті різними групами необхідності практичних навичок для ефективної роботи у сфері нанонауки (Табл.1.5).

Таблиця 1.5

Результати опитування блоку практико-операційного компоненту

Навички	Академічні дослідники	Фахівці	Здобувачі освіти	Політики	Етики	Середнє	Медіана
Володіння лабораторними методами, специфічними для нанонауки	4.6	4.4	4.7	3.8	4.3	4.36	4.4
Компетентність в обчислювальних і аналітичних методах	4.9	4.6	4.4	4.1	4.0	4.4	4.4
Здатність планувати та проводити наукові експерименти	4.8	4.7	4.7	3.9	4.2	4.46	4.7
Навички критичного мислення та вирішення проблем	4.8	4.8	4.8	4.7	4.6	4.74	4.8

Здобувачі освіти (4,7) і наукові дослідники (4,6) високо оцінили володіння лабораторними методами, специфічними для нанонауки, тоді як політики поставили найнижчу оцінку (3,8). Середній бал склав 4,36, а медіана – 4,4, що вказує на загалом позитивну оцінку цієї навички. Однак розбіжність між рейтингами академіків і політиків свідчить про те, що в той час як практична лабораторна компетентність є критичною для дослідників і студентів, вона не є настільки важливою на посадах, пов'язаних із політикою. Етики та професіонали галузі також оцінили його помірно високо (4,3 і 4,4 відповідно), підкреслюючи його актуальність як у практичному, так і в етичному контексті, хоча й меншою мірою в політичному середовищі.

Компетентність у обчислювальних і аналітичних методах отримала найвищий бал серед академічних дослідників (4,9), що відображає зростаючу важливість аналізу даних і моделювання в дослідженнях у галузі нанонауки. Професіонали галузі оцінили цю навичку трохи нижче (4,6), за ними йдуть здобувачі освіти (4,4), політики (4,1) та етики (4,0). Середній бал склав 4,4, а медіана – 4,4. Нижчі оцінки серед політиків та етиків свідчать про те, що в той час як обчислювальні навички є фундаментальними для технічних ролей, вони менш критичні в нетехнічних функціях. Високий рейтинг цієї навички серед академічних та галузевих професіоналів підкреслює необхідність сильних аналітичних здібностей як у дослідницьких, так і в прикладних умовах.

Здатність планувати та проводити наукові експерименти була оцінена аналогічно академічними дослідниками, фахівцями галузі та аспірантами (4,8, 4,7 та 4,7 відповідно), підкреслюючи її важливість для тих, хто активно займається науковими дослідженнями. Політики дали йому нижчу оцінку (3,9), а етики – помірну (4,2). Середній бал склав 4,46, а медіана – 4,7. Рейтинги відображають, що, хоча ця навичка є важливою для дослідницьких і професійних ролей, вона сприймається як менш важлива для тих, хто займається політикою чи етикою. Тим не менш, високі бали серед дослідників і студентів підкріплюють центральну роль планування та виконання експериментів у розвитку нанонауки.

Навички критичного мислення та вирішення проблем отримали незмінно високі оцінки в усіх групах, а академічні дослідники, професіонали галузі та здобувачі освіти отримали 4,8. Політики та етики також високо оцінили цю навичку на 4,7 і 4,6 відповідно. Загальний середній бал склав 4,74 із середнім балом 4,8, демонструючи, що критичне мислення та розв'язання проблем універсально цінуються на всіх посадах у нанонауці. Цей міцний консенсус свідчить про те, що здатність вирішувати складні виклики є ключовою компетенціями, чи то в дослідницькому, промисловому, політичному чи етичному контексті.

Аналіз мотиваційно-ціннісних навичок у різних групах зацікавлених сторін підкреслює, як особиста відданість, етична відповідальність і ширша суспільна обізнаність сприймаються в контексті нанонауки (Табл.1.6).

Таблиця 1.6

Результати опитування блоку мотиваційно-ціннісного компоненту

Навички	Академічні дослідники	Фахівці	Здобувачі освіти	Політики	Етики	середнє	медіана
Пристрасть до науки	5.0	4.3	4.6	3.9	4.0	4.36	4.3
Відданість навчанню протягом усього життя та професійному зростанню	4.7	4.5	4.3	4.2	4.1	4.36	4.3
Етичне усвідомлення та відповідальність у професійній діяльності	4.5	4.3	4.4	4.7	4.9	4.56	4.5
Адвокація стійких практик у нанонауці	4.1	4.2	4.0	4.8	4.8	4.38	4.2
Усвідомлення соціального внеску нанонауки	4.2	4.1	4.3	4.9	4.9	4.48	4.3

Пристрасть до науки отримала найвищу оцінку академічних дослідників (5,0), що відображає глибоку особисту та професійну відданість своїй галузі.

Здобувачі освіти також продемонстрували великий ентузіазм (4,6), тоді як спеціалісти галузі оцінили його трохи нижче (4,3). Політики (3,9) та етики (4,0) оцінили цю навичку найнижче, що може відображати більш стратегічний і регуляторний характер їхніх ролей. Загальний середній бал склав 4,36, а медіана – 4,3. Це свідчить про те, що хоча пристрасть до науки є фундаментальною для тих, хто безпосередньо займається дослідженнями та розробками, вона сприймається як менш критична на посадах, пов'язаних із політикою чи етикою, де об'єктивне прийняття рішень може мати перевагу над особистою пристрастю.

Прихильність навчанню протягом усього життя та професійному зростанню високо оцінили академічні дослідники (4,7) і професіонали галузі (4,5), підкреслюючи важливість постійного розвитку для підтримки досвіду в нанонауці. Здобувачі освіти оцінили цю навичку трохи нижче (4,3), можливо, через те, що вони зараз зосереджені на завершенні формальної освіти. Політики (4.2) та етики (4.1) також визнали важливість навчання впродовж життя, хоча й у меншій мірі. Середній бал 4,36 і медіана 4,3 вказують на широку оцінку цінності постійного професійного зростання в усіх групах, причому дослідники та професіонали галузі лідирують у пріоритетності цього аспекту.

Етичне усвідомлення та відповідальність у професійній діяльності було оцінено найвищою етиками (4,9), підкреслюючи їх безпосередню участь в етичних міркуваннях. Політики також надають великого значення цій навичці (4.7), що, ймовірно, відображає їх роль у забезпеченні відповідальної наукової практики. Академічні дослідники (4,5), професіонали галузі (4,3) і здобувачі освіти (4,4) оцінили його однаково, з дещо нижчим акцентом, можливо, через те, що вони більше зосереджені на технічній експертизі. Загальний середній бал 4,56 і медіана 4,5 відображають вирішальну роль етики в усіх галузях нанонауки, хоча особливо для тих, кому доручено регулювати та керувати її використанням.

Політики та фахівці з етики надали найбільшого значення адвокації стійких практик у нанонауці (4,8 кожен), що відображає їхню увагу на довгострокових наслідках і відповідальному розвитку технологій. Академічні дослідники (4,1), професіонали галузі (4,2) і здобувачі освіти (4,0) оцінили цю навичку нижче, що свідчить про те, що стійкість є менш пріоритетним пріоритетом у їхній повсякденній роботі порівняно з ширшими суспільними та регуляторними проблемами. Середній бал 4,38 і медіана 4,2 вказують на зростаюче визнання потреби в стійкості, особливо серед тих, хто займає керівні та політичні посади.

Усвідомлення соціального внеску нанонауки відбувалася за подібною схемою: політики та етики оцінили його найвище (4,9 кожен), тоді як дослідники, професіонали галузі та аспіранти оцінили його трохи нижче (4,2, 4,1 та 4,3 відповідно). Середній бал становив 4,48, а медіана – 4,3, що відображає важливість розуміння того, який внесок нанонаука робить у суспільство. Цій навичці особливо наголошують ті, хто спостерігає за ширшими наслідками наукових досягнень, наприклад політики та етики, тоді як ті, хто безпосередньо залучений до досліджень і розробок, як правило, віддають перевагу технічним навичкам над соціальною обізнаністю.

Підсумовуючи, необхідно сказати, що всі групи зацікавлених сторін визнають навички, що ґрунтуються на мотивації та цінностях, як важливі, хоча рівень акценту залежить від їх ролі. Пристрасть до науки та відданість навчанню впродовж життя вважаються найважливішими для тих, хто безпосередньо залучений до досліджень і промисловості, тоді як політики та фахівці з етики віддають пріоритет етичній відповідальності, сталому розвитку та соціальній обізнаності. Ці висновки свідчать про необхідність збалансованого підходу до розвитку майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, який сприятиме як технічним знанням, так і твердій відданості етичним і суспільним міркуванням.

Результати цього дослідження дають комплексне уявлення про відносну важливість когнітивних, практично-операційних та мотиваційно-ціннісних

навичок у сфері нанонауки. Серед когнітивних навичок розуміння протоколів безпеки та етичних міркувань отримало найвищий середній бал (4,58), що відображає зростаюче занепокоєння щодо безпеки та етичної відповідальності в нанотехнологіях. Постійно високі рейтинги в групах зацікавлених сторін вказують на широку згоду щодо критичної ролі цих навичок у нанонауці, особливо серед політиків та етиків. Навпаки, знання останніх досягнень у галузі нанонауки отримали дещо нижчу загальну оцінку (4,5), причому політики присвоїли їм нижчий пріоритет, що може відображати їхній ширший фокус за межами передових технологічних розробок.

Що стосується практичних і оперативних навичок, то навички критичного мислення та вирішення проблем виявилися найбільш цінними в усіх групах із помітно високим середнім балом (4,74). Цей висновок підкреслює важливість цих навичок у вирішенні складних завдань у нанонауці, виходячи за межі технічного досвіду та включаючи здатність до інновацій та вирішення проблем у непередбачуваних ситуаціях. Водночас знання лабораторних методів і компетенція в обчислювальних і аналітичних методах показали різну важливість залежно від групи зацікавлених сторін. Хоча дослідники та професіонали галузі високо оцінили ці навички, політики поставили їм нижчі бали, ймовірно, через їхню меншу участь у практичних дослідженнях.

У категорії мотиваційно-ціннісних навичок виділяються етична обізнаність і відповідальність із середнім балом 4,56, на чому особливо наголошують фахівці з етики та політики. Нижчі оцінки здобувачів освіти і професіоналів індустрії свідчать про те, що етичні міркування можуть бути не так сильно інтегровані в їхню повсякденну роботу чи навчання. Цікаво, що пристрасть до науки отримала найвищу оцінку від академічних дослідників (5,0), підкреслюючи її важливість для тих, хто перебуває на передньому краї інновацій у нанонауці, тоді як політики оцінили її нижчу (3,9), що вказує на потенційну різницю в тому, як внутрішня мотивація сприймається в різних секторах.

Когнітивні навички мали найвищий загальний середній бал (4,53), що свідчить про те, що розуміння основних концепцій, етичних міркувань і протоколів безпеки широко вважається важливим для всіх груп зацікавлених сторін.

Практичні та оперативні навички йдуть упритул із середнім балом 4,49, що відображає важливість практичного досвіду та здатності виконувати технічні завдання в лабораторії чи промислових умовах.

Мотиваційно-ціннісні навички мали найнижчий середній бал (4,43), що вказує на те, що, незважаючи на те, що особиста самовідданість і етична відповідальність цінуються, вони можуть розглядатися як вторинні по відношенню до технічних знань і здатності вирішувати проблеми.

Академічні дослідники найвище оцінили когнітивні навички (4,7), за ними йдуть практично-оперативні навички (4,68) і мотиваційно-ціннісні навички (4,5). Ця тенденція передбачає сильний акцент на теоретичному розумінні та технічному досвіді в дослідницьких середовищах.

Професіонали промисловості надають найбільшого значення практичним і оперативним навичкам (4.6), вказуючи на те, що реальні технічні здібності є вирішальними для успіху в промислових застосуваннях. Когнітивні навички також були високо оцінені (4,53), тоді як мотиваційно-ціннісні навички були оцінені нижче (4,3).

Студенти магістратури показали подібну картину, причому практичні та оперативні навички отримали найвищий бал (4,53), що відображає їх потребу в практичному досвіді під час переходу на професійні ролі. Далі йдуть когнітивні навички (4,5) і мотиваційно-ціннісні навички (4,33).

Політики найвище оцінили мотиваційно-ціннісні навички (4,5), наголошуючи на важливості етичної відповідальності та соціального внеску в процеси прийняття рішень. Когнітивні навички (4,3) і практико-операційні навички (4,0) були оцінені нижче, ймовірно, через стратегічний характер їхньої роботи.

Фахівці з етики приділили найбільшу увагу мотиваційно-ціннісним навичкам (4,6), зокрема етичній обізнаності, за якою йдуть когнітивні навички (4,4). Практичні та оперативні навички (4,03) були оцінені нижче, що відображає їхню зосередженість на соціальних та етичних наслідках, а не на технічній експертизі.

Порівняння категорій кваліфікації виявляє кілька важливих тенденцій. По-перше, більшість зацікавлених сторін вважають когнітивні навички найбільш важливими, особливо серед академічних дослідників і політиків. Це відкриття підкреслює центральну роль теоретичних знань, етичних міркувань і розуміння протоколів безпеки в нанонауці. Ці навички вважаються фундаментальними для проведення безпечних і відповідальних досліджень і забезпечення етичного застосування нанотехнологій.

Навпаки, практичні та операційні навички були оцінені найвищими фахівцями галузі та здобувачами освіти, які безпосередньо беруть участь у застосуванні нанонауки в реальних умовах. Це підкреслює важливість практичних технічних навичок у професійному та промисловому контекстах, де здатність керувати обладнанням, проводити експерименти та вирішувати технічні проблеми є важливими для успіху. Менший акцент на цих навичках з боку політиків та етиків свідчить про те, що їхні ролі більше зосереджені на ширших етичних і нормативних питаннях, а не на технічній компетенції.

Ціннostно-мотиваційні навички, такі як пристрасть до науки, етична відповідальність і навчання впродовж життя, були оцінені найвищими політиками та етиками, що відображає їхню увагу до суспільних та етичних аспектів нанотехнологій. Цікаво, що академічні дослідники та професіонали галузі менше наголошували на цих навичках, які надавали більшого значення когнітивним і практичним навичкам. Ця розбіжність свідчить про те, що різні сектори галузі нанонауки віддають перевагу навичкам на основі їхніх конкретних ролей та обов’язків. Наприклад, дослідники та професіонали галузі можуть надавати пріоритет технічним знанням, тоді як політики та

етики більше стурбовані довгостроковою стійкістю та етичними міркуваннями.

Загалом результати свідчать про те, що освітні та навчальні програми для фахівців у галузі наноматеріалознавства мають мати збалансований підхід. У той час як когнітивні та практичні навички мають вирішальне значення для наукового та технічного успіху, мотиваційно-ціннісні навички, такі як етична обізнаність та суспільна відповідальність, також повинні бути включені до навчальних програм. Це особливо важливо, враховуючи зростаючі етичні проблеми, пов’язані з новими технологіями, і потребу майбутніх фахівців орієнтуватися як у наукових, так і в суспільних питаннях.

На завершення це дослідження підкреслює різноманітну, але взаємопов’язану важливість когнітивних, практично-оперативних і мотиваційно-ціннісних навичок у нанонауці. Отримані результати свідчать про те, що комплексний підхід до освіти та професійного розвитку має важливе значення для підготовки всебічно розвинених фахівців у галузі наноматеріалознавства, які є не лише технічними, але й етично відповідальними та соціально обізнаними.

Це дослідження дає цінну інформацію про відносну важливість когнітивних, практично-операційних та мотиваційно-ціннісних навичок у сфері нанонауки на основі точок зору різноманітних зацікавлених сторін, включаючи академічних дослідників, професіоналів галузі, здобувачів освіти, політиків та етиків.

Отримані результати показують, що критичне мислення та навички вирішення проблем загальновизнані як найважливіші компетенції, що підкреслює потребу в освітніх і навчальних програмах, щоб надати пріоритет розвитку цих навичок у всіх секторах. У той час як когнітивні та практичні навички, такі як компетентність у обчислювальних методах і майстерність у лабораторних методах, високо оцінюються дослідниками та фахівцями галузі, зростаюча важливість етичної обізнаності та практики сталого розвитку особливо очевидна серед політиків та етиків. Ці відмінності підкреслюють

міждисциплінарні вимоги нанонауки, де технічний досвід має бути доповнений міцною етичною основою та врахуванням впливу на суспільство.

Дослідження також виявило потенційну прогалину в інтеграції етичної відповідальності в підготовку здобувачів освіти і спеціалістів на початку кар'єри. Усунення цієї прогалини шляхом глибшого впровадження етичних міркувань у навчальні програми може допомогти переконатися, що майбутні фахівці в галузі наноматеріалознавства будуть не тільки кваліфікованими, але й зможуть усвідомлювати ширші наслідки своєї роботи.

З точки зору політики, результати свідчать про те, що особи, які приймають рішення, повинні зосередитися на сприянні як інновацій, так і відповідальності в нанонауці. Сильний наголос на сталому розвитку та соціальному внеску відображає зростаюче усвідомлення необхідності технологічних досягнень для узгодження з довгостроковими суспільними та екологічними цілями.

Підсумовуючи, динамічний характер нанонауки вимагає збалансованого підходу до розвитку навичок, поєднання когнітивних, технічних та етичних компетенцій. Оскільки галузь продовжує розвиватися, майбутні зусилля повинні бути зосереджені на створенні більш цілісних освітніх рамок і політики, які гарантуватимуть, що наступне покоління нанонауковців буде добре оснащене для вирішення складних викликів майбутнього.

Для майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, які прагнуть зробити ефективний внесок у сталий розвиток, певний набір компетентностей має вирішальне значення для орієнтування в складнощах своєї галузі, одночасно сприяючи довгостроковій глобальній стійкості. Ці компетентності забезпечують їх необхідними інструментами для інновацій та застосування нанотехнологічних рішень, які є екологічно безпечними, соціально відповідальними та економічно життєздатними. Як-то компетентність системного мислення є важливою для майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, оскільки вона дозволяє їм розуміти та маніпулювати матеріалами на нанорозмірі в рамках більших екологічних, економічних та

соціальних систем. Цей цілісний погляд має вирішальне значення для забезпечення того, щоб нанотехнологічні інновації позитивно сприяли сталому розвитку без небажаних наслідків.

Компетентність щодо передбачення готує майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до прогнозування наслідків їхніх інновацій. Враховуючи швидкий розвиток нанотехнологій, здатність передбачити та зменшити потенційні ризики, пов'язані з новими матеріалами та технологіями, є життєво важливою для відповідальної розробки та впровадження.

Компетентність стратегічного мислення дозволяє майбутнім фахівцям в галузі наноматеріалознавства розробляти довгострокові стратегії, які відповідають цілям сталого розвитку. Це передбачає планування та виконання проєктів таким чином, щоб оптимізувати використання ресурсів, мінімізувати вплив на навколишнє середовище та підвищити переваги для суспільства.

Компетентність міжособистісного спілкування або співпраці особливо важлива в міждисциплінарній галузі нанотехнологій. Фахівці в галузі наноматеріалознавства повинні ефективно співпрацювати з іншими вченими, інженерами, політиками та лідерами галузі, щоб гарантувати, що нанотехнологічні розробки є масштабованими, стійкими та відповідають різноманітним потребам суспільства.

Інтегрована компетентність вирішення проблем є критично важливою для фахівців в галузі наноматеріалознавства, щоб застосувати свої технічні знання та інноваційні навички до реальних проблем. Ця компетентність передбачає синтез інформації з різних джерел і дисциплін для розробки рішень, які ефективно вирішують конкретні проблеми сталого розвитку.

Нарешті, ціннісне мислення, або нормативна компетентність, є незамінним для майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Ця компетенція передбачає роздуми про етичні наслідки їхньої роботи, інтеграцію цінностей сталого розвитку в дослідження та розробки та розгляд більш широкого впливу нанотехнологій на суспільство та навколишнє середовище. Це гарантує, що майбутні фахівці у галузі наноматеріалознавства

не тільки прагнуть до інновацій, які є технічно можливими та економічно вигідними, але також є соціально справедливими та екологічно чистими.

Таким чином, компетентності фахівців у галузі наноматеріалознавства складають комплексний набір знань, навичок і цінностей, які мають вирішальне значення для ефективного сприяння сталому розвитку. Цей набір об'єднує глибокі технічні знання з широким розумінням соціальних, етичних та екологічних наслідків нанотехнологій.

Багатогранний характер цих компетентностей відображає складну взаємодію між нанотехнологіями та сталим розвитком суспільства. Професіонали, які володіють цим різноманітним набором навичок, мають унікальні можливості для впровадження інновацій, які не лише просувають технологічні межі, але й підвищують добробут суспільства та піклування про навколишнє середовище. Цей комплексний підхід гарантує, що досягнення в галузі науки про наноматеріали позитивно впливають як на нинішні, так і на майбутні покоління, врівноважуючи технологічний прогрес із необхідністю збереження та розвитку глобальної екосистеми.

По суті, компетентності, які вимагаються від фахівців в галузі наноматеріалознавства, охоплюють не лише володіння науковими та технічними дисциплінами, але й розвиток стратегічних, етичних та здібностей до співпраці. Ці професіонали повинні орієнтуватися в умовах, де міждисциплінарні знання поєднуються з прихильністю до сталого розвитку, що робить їх ключовими фігурами в досягненні глобальних цілей сталого розвитку. Їхня роль полягає не лише в тому, щоб функціонувати в межах своїх технічних сфер, а й у тому, щоб діяти як мости, що з'єднують науку з ширшими потребами суспільства, таким чином втілюючи справжній дух інновацій у служінні людству.

Особливе місце у підготовці нанотехнологів відіграють цінності. За словами Лейзеровіца та ін. (Robert et al., 2005): «Цінності – це абстрактні ідеали, такі як свобода, рівність і стійкість. Вони часто викликають емоційні реакції та зазвичай виражаються в термінах «добре» чи «погано», «краще» чи

«гірше», «бажаність» чи «уникнення». Цінності визначають або спрямовують нас до цілей, формують наше ставлення та забезпечують стандарти, за якими можна оцінювати поведінку окремих людей і суспільства. Ставлення стосується оцінки конкретного об'єкта, якості чи поведінки як хороших чи поганих, позитивних чи негативних. Ставлення часто випливає з абстрактних цінностей і відображає їх. Нарешті, поведінка відноситься до конкретних рішень і дій, вжитих окремими особами та групами, які часто ґрунтуються на основних цінностях і ставленнях».

Існує багато досліджень, які підтверджують, як особисте благополуччя, цікавість, емпатія, доброта та нематеріалістичні цінності пов'язані з більш стійкою поведінкою (Ericson et al., 2014; Czap et al., 2015).

Наприклад, Mearns і Norton (2009) визначали роль цінностей для сталого розвитку : «Стійкість дійсно згущується в плеканні та об'єднанні цінностей, вірувань і поведінки з екологічним управлінням і колективною відповідальністю. Завдяки нашим повсякденним виборам ми можемо вибрати або покращити, або послабити планету, наше суспільство та комерційне багатство. Виходячи з цього, глобальне ставлення до цінностей Декларації тисячоліття передбачає свободу та демократію, справедливість, солідарність, прийняття, повагу до природи та спільну відповідальність»

Інше дослідження визначає «індивідуальну сталість» наступним чином (Pappas & Pappas, 2014): «Стійкі особистості характеризуються створенням гармонії, взаємозв'язку та відносно високим рівнем самосвідомості у своїх цінностях, думках, поведінці та діях, а також культивуванням постійного індивідуального зростання своїх фізичних, емоційних, соціальних, філософських та інтелектуальних здібностей. Індивідуальна стійкість включає володіння добре розробленою та продемонстрованою системою цінностей, яка визнає важливість і взаємозв'язок усіх глобальних біологічних і соціальних систем, а також наше відповідне місце в них».

Культивування основних цінностей у майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства є обов'язковим для сприяння сталому розвитку в галузі

науки про наноматеріали (Bohdanov et al., 2024; Sychikova et al., 2024). Ця необхідність виникає з глибокого впливу цінностей на ставлення та поведінку, які, у свою чергу, формують професійну практику та взаємодію із суспільством і навколишнім середовищем.

Такі цінності, як свобода, рівність, сталість і повага до природи, не є просто абстрактними ідеалами; вони викликають сильні емоційні реакції та спрямовують людей до певної поведінки та цілей. Для фахівців у галузі наноматеріалознавства ці цінності стають стандартами, за якими вони оцінюють свою професійну поведінку та вплив своїх інновацій. Як підкреслюється в різних дослідженнях, цінності, пов'язані з особистим добробутом, емпатією та піклуванням про навколишнє середовище, пов'язані зі стійкою поведінкою, яка має вирішальне значення в контексті потенційного впливу нанотехнологій на довкілля та суспільство.

Роль цінностей у сталому розвитку в основному полягає в плеканні та поєднанні цих етичних принципів із екологічною відповідальністю та колективною відповідальністю. Фахівці в галузі наноматеріалознавства, озброєні системою цінностей, яка наголошує на взаємозв'язку та гармонії, можуть приймати рішення, які не лише сприяють технологічному прогресу, але й підвищують добробут суспільства та здоров'я планети.

Тому для ефективного сприяння сталому розвитку фахівці в галузі наноматеріалознавства повинні втілювати те, що можна назвати «індивідуальною стійкістю» (Murray, 2012). Ця концепція передбачає глибоке узгодження цінностей, думок, поведінки та дій, які сприяють безперервному особистому зростанню разом із прихильністю до глобальних біологічних і соціальних систем. Добре розроблена та активно демонстрована система цінностей дозволяє цим професіоналам розуміти та виконувати свої ролі в цих системах продумано та відповідально.

При визначенні системи цінностей для майбутніх фахівців в галузі наноматеріалознавства вкрай важливо інтегрувати ці принципи на кожному рівні освіти та професійної підготовки. Ця інтеграція гарантує, що майбутні

фахівці не тільки володіють науковими та технічними навичками, необхідними для їх галузі, але також керуються сильним етичним компасом. Розробка такої системи, орієнтованої на цінності, має важливе значення для забезпечення того, щоб досягнення нанотехнологій позитивно сприяли сталому розвитку, відображаючи баланс між інноваціями та етичною відповідальністю, між індивідуальними досягненнями та колективним благополуччям (Рис. 1.3).

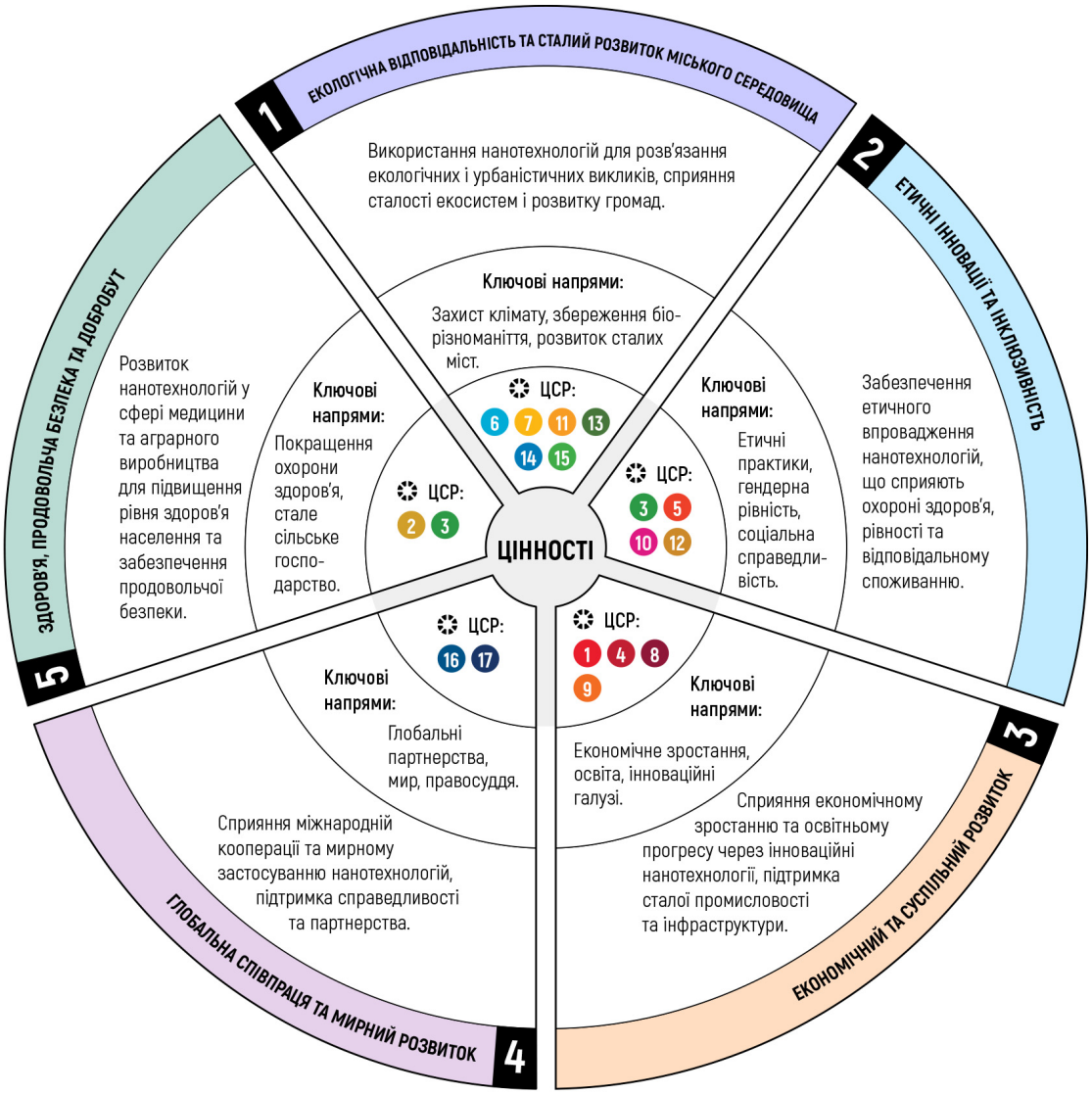

Рис. 1.3. Рамка цінностей фахівця в галузі наноматеріалознавства для досягнення цілей сталого розвитку

Засвоєння цінностей, узгоджених із глобальними цілями сталого розвитку, розширює зміст професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі

наноматеріалознавства та виводить її за межі суто технократичного розуміння. За таких умов готовність до професійної діяльності охоплює не лише когнітивні, практико-операційні та мотиваційно-ціннісні характеристики, а й здатність фахівця діяти відповідально в ситуаціях, пов’язаних із ризиком, невизначеністю та можливими суспільно значущими наслідками. Саме тому в межах подальшого аналізу постає необхідність уточнення сутності етичної відповідальності та її місця у структурі професійної готовності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

У сучасних високотехнологічних та наукоємних галузях етична відповідальність дедалі частіше розглядається не як зовнішнє нормативне обмеження професійної діяльності, а як її внутрішній структурний компонент. Особливо це стосується сфер, пов’язаних із розробкою та застосуванням наноматеріалів, де науково-технічні рішення супроводжуються високим рівнем невизначеності, потенційними довгостроковими наслідками та складними соціальними й екологічними ефектами. За таких умов професійна діяльність фахівця не може бути зведена лише до технічної ефективності, а передбачає усвідомлення меж власних рішень, можливих ризиків і відповідальності за їхні наслідки. У зв’язку з цим виникає необхідність чіткого концептуального розмежування базових понять, що використовуються в дослідженні, а саме: «етична відповідальність», «готовність до етичної відповідальності» та «готовність до етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства».

Етичну відповідальність трактуємо як інтегрований, багатовимірний, системоутворювальний чинник професійної готовності, сформований у процесі професійної підготовки, який відображає здатність фахівця усвідомлювати й оцінювати етичні, соціальні, екологічні та безпекові наслідки професійних рішень у галузі наноматеріалознавства, діяти відповідально в умовах наукової невизначеності та нести відповідальність за наслідки такого вибору.

На відміну від формального дотримання етичних норм або кодексів, етична відповідальність передбачає активну позицію суб'єкта, здатність до морального судження в ситуаціях, що не мають однозначно правильних рішень, а також готовність враховувати інтереси різних зацікавлених сторін і майбутніх поколінь.

У межах даного дослідження етична відповідальність концептуалізується як багатовимірне утворення, що проявляється через п'ять взаємопов'язаних вимірів і виступає структурною основою для добору змісту навчального курсу та визначення критеріїв сформованості готовності до професійної діяльності: екологічна етика, що відображає екоспроможність професійних рішень і здатність оцінювати вплив наноматеріалів на довкілля протягом усього життєвого циклу; відповідальність за інновації, що відповідає принципам відповідальних досліджень та інновацій (Responsible Research and Innovation, RRI) і передбачає врахування суспільних очікувань, ризиків та цінностей на етапах створення й впровадження нових технологій; прозорість і відкритість, пов'язані з дотриманням принципів відкритої науки, відповідального управління дослідницькими даними та наукової доброчесності; запобігання шкоді, що включає усвідомлення ризиків подвійного призначення (dual-use) та здатність мінімізувати потенційно небезпечні або зловмисні застосування результатів досліджень; справедливість і інклюзія, що охоплює питання рівного доступу до технологій, недискримінаційності та врахування соціальних нерівностей у процесі технологічного розвитку.

У цьому дослідженні етична відповідальність є показником етичної зрілості, а не відповідність певному «правильному» набору рішень. Це зумовлено тим, що більшість етичних дилем у високотехнологічних галузях не мають однозначних відповідей, а моральний вибір часто здійснюється між конкуруючими цінностями, ризиками та інтересами. Відповідно, етичну зрілість неможливо безпосередньо виміряти через оцінку правильності або неправильності рішень; натомість вона проявляється у способі міркування,

аргументації, врахуванні наслідків і готовності брати відповідальність за зроблений вибір. З урахуванням галузевої специфіки етична відповідальність майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства відображає здатність усвідомлювати й оцінювати етичні, соціальні, екологічні та безпекові наслідки професійних рішень у галузі наноматеріалознавства, діяти відповідально в умовах наукової невизначеності та нести відповідальність за наслідки такого вибору. Це передбачає не лише знання етичних принципів, а й сформовану здатність до рефлексивного аналізу професійних ситуацій, балансу між інноваційним потенціалом і ризиками, а також усвідомлення власної ролі в ширшому соціотехнічному контексті.

Відтак готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства доцільно розглядати як інтегровану характеристику, що охоплює когнітивний, практико-операційний і мотиваційно-ціннісний виміри та виявляється у здатності здійснювати дослідження, проєктування, розроблення й застосування наноматеріалів на основі спеціалізованих наукових знань, володіння сучасними методами наноматеріалознавства та усвідомлення відповідальності за можливі наслідки професійної діяльності. Вона передбачає здатність оцінювати безпекові, екологічні, соціальні й етичні ризики нанотехнологій, приймати обґрунтовані рішення в умовах невизначеності та забезпечувати відповідальне використання результатів науково-технологічної діяльності.

У сучасних дослідженнях дедалі частіше наголошується, що етичні складності високотехнологічних галузей, зокрема нанонауки, потребують не ізольованого, а інтегрованого включення етичної проблематики до змісту фахової підготовки. Традиційні моделі STEM-освіти нерідко розглядають етичне навчання як окремий додаток до науково-технічного змісту, що може призводити до ситуації, коли здобувачі освіти демонструють належний рівень технічної підготовки, але не мають достатнього підґрунтя для осмислення ширших наслідків власної професійної діяльності. Як відповідь на цю проблему в літературі обґрунтовується інтегрований підхід, за якого етична

рефлексія вбудовується безпосередньо в наукові та інженерні курси через аналіз конкретних випадків, контекстуалізовані сценарії та діалогічні форми роботи. Такий підхід дає змогу розглядати етичні наслідки не як зовнішній додаток до фахової підготовки, а як невід'ємну частину професійного мислення майбутнього фахівця.

Попри поширення інтегрованих підходів до етичної освіти, науковці відзначають, що традиційні способи викладання етики часто не забезпечують достатнього рівня етичної обізнаності та не формують здатності діяти в умовах складних моральних дилем. Особливо це стосується нанотехнологій, де професійні рішення пов'язані з невизначеними, відкладеними та багатовимірними наслідками. У зв'язку з цим дедалі більшої уваги набувають підходи, засновані на сценаріях, тематичних кейсах і фасилітованих обговореннях, які дозволяють моделювати етичні виклики, наближені до реальних професійних ситуацій. Саме такі методи створюють умови не лише для засвоєння етичних принципів, а й для розвитку критичного мислення, аргументації, емпатії та здатності приймати відповідальні рішення в ситуаціях, що не мають однозначно правильного розв'язання.

Особливу цінність у цьому контексті мають реалістичні сценарії, що відображають не гіпотетичні катастрофічні картини, а правдоподібні професійні ситуації, з якими майбутні фахівці можуть реально зіткнутися у своїй діяльності. У сучасних дослідженнях підкреслюється, що добре сконструйовані сценарії здатні посилювати особистісне залучення здобувачів освіти, сприяти розвитку емпатії та підвищувати якість етичного міркування. Водночас критика ранньої наноетики, побудованої на сенсаційних або науково-фантастичних уявленнях, засвідчила необхідність опори саме на обґрунтовані, контекстно достовірні ситуації. Для підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства це означає, що етичне навчання має спиратися на такі сценарії, які відтворюють реальні суперечності професійної практики, а не абстрактні моральні схеми.

Теоретичним підґрунтям такого підходу є положення експериментального навчання та теорії критичного мислення. У межах цих підходів навчання розглядається як процес, що потребує активного включення здобувачів освіти, рефлексії, аналізу наслідків власних рішень і розгляду альтернативних позицій. Саме тому сценарно-орієнтовані форми роботи мають особливу педагогічну цінність: вони поєднують когнітивний аналіз із контекстним осмисленням професійної ситуації та дають змогу зблизити теоретичне знання з практикою відповідального вибору. У контексті підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства це створює підстави розглядати сценарний підхід як педагогічно доцільний інструмент формування етичної відповідальності.

Запропоновані визначення, а також узагальнення сучасних підходів до етичної освіти у високотехнологічних галузях створюють концептуальне й педагогічне підґрунтя для подальшої операціоналізації готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Це дає змогу обґрунтувати багатовимірний підхід до її формування та оцінювання, що враховує як галузеву специфіку наноматеріалознавства, так і особливості етичного міркування в умовах невизначеності, потенційних ризиків і множинності допустимих рішень. У зв’язку з цим готовність до професійної діяльності з урахуванням вимог етичної відповідальності розглядається не як засвоєння нормативно заданих відповідей, а як сформована здатність до рефлексивного аналізу професійних ситуацій, аргументованого морального вибору та відповідального прийняття рішень у реальному соціотехнічному контексті.

Висновки до розділу 1

У першому розділі розкрито сутність базових понять дослідження та проаналізовано особливості формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. На цій основі визначено

структуру готовності, а також обґрунтовано критерії та показники оцінювання рівня її сформованості.

У результаті теоретичного аналізу уточнено понятійні межі нанонауки, наноматеріалознавства та нанотехнологій. Встановлено, що нанонаука є міждисциплінарним полем фундаментального пізнання явищ і процесів на нанорівні; наноматеріалознавство – її доменно-орієнтованою складовою, зосередженою на синтезі, характеризації та дослідженні властивостей наноматеріалів; нанотехнології – прикладним і технологічним виміром реалізації нанонаукових результатів. Це дало підстави розглядати професійну діяльність майбутнього фахівця у галузі наноматеріалознавства в контексті ширшої нанонаукової екосистеми.

Обґрунтовано, що майбутнього фахівця у галузі наноматеріалознавства доцільно визначати не лише через формальну належність до певної спеціальності, а насамперед через зміст професійної діяльності, міждисциплінарний характер виконуваних завдань, використання методів синтезу й характеризації наноматеріалів та відповідальність за соціальні, екологічні, безпекові й технологічні наслідки професійних рішень. Встановлено, що відсутність універсальної рамки компетентностей у цій галузі зумовлена її міждисциплінарністю, динамічним розвитком, множинністю професійних ролей і широким спектром доменів застосування.

З’ясовано, що готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства має інтегрований характер і охоплює когнітивний, практико-операційний та мотиваційно-ціннісний виміри. Водночас доведено, що в умовах технологічної невизначеності, потенційно відкладених наслідків і високої суспільної значущості нанотехнологій така готовність не може бути зведена лише до сукупності знань, умінь і навичок, а передбачає здатність до відповідального професійного вибору.

Обґрунтовано, що етична відповідальність у структурі готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства має ключове значення. Вона визначає характер професійного мислення, прийняття

рішень і оцінювання наслідків діяльності, а тому не може розглядатися лише як окремий додатковий компонент професійної підготовки. Етичну відповідальність трактовано як інтегрований, багатовимірний, системоутворювальний чинник професійної готовності, сформований у процесі професійної підготовки, який відображає здатність фахівця усвідомлювати й оцінювати етичні, соціальні, екологічні та безпекові наслідки професійних рішень у галузі наноматеріалознавства, діяти відповідально в умовах наукової невизначеності та нести відповідальність за наслідки такого вибору.

Визначено основні змістові виміри етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства: екологічна етика; відповідальність за інновації відповідно до принципів Responsible Research and Innovation; відкритість і прозорість наукової діяльності; запобігання шкоді в контексті ризиків подвійного призначення; справедливість та інклюзія. Це створює концептуальне підґрунтя для подальшого розроблення критеріїв, показників і засобів оцінювання сформованості готовності до професійної діяльності.

Узагальнення теоретичних положень розділу дало підстави щодо необхідності емпіричного уточнення структури та пріоритетних компонентів готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, зокрема місця в ній етичної відповідальності. Проведено дослідження на поєднанні опитування стейкхолдерів і експертного оцінювання за методологією Делфі, що дало змогу конкретизувати професійно значущі та етично релевантні компоненти цієї готовності в сучасних умовах розвитку наноматеріалознавства.

Визначено структурні компоненти готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства: *когнітивний компонент* передбачає знання, розуміння та аналітичне осмислення етичних, соціальних і безпекових аспектів науково-дослідної та інноваційної діяльності, зокрема розпізнавання екологічних ризиків, аналіз соціальних наслідків інновацій, розуміння принципів відкритої науки, ідентифікація ризиків подвійного

використання результатів досліджень, аналіз інтересів і потреб різних стейкхолдерів; *практико-операційний компонент* охоплює вміння приймати рішення та реалізовувати відповідні дії в ситуаціях, пов'язаних із відповідальними дослідженнями та інноваціями, а саме вибір запобіжних дій щодо мінімізації екологічних ризиків, вибір відповідальних способів упровадження інновацій, вибір способів оприлюднення або обмеження доступу до наукових даних, вибір обмежувальних чи захисних заходів для запобігання небажаному використанню результатів досліджень, застосування інклюзивних процедур залучення зацікавлених сторін до процесу прийняття рішень; *мотиваційно-ціннісний компонент* відображає систему цінностей, установок і мотивів, що визначають відповідальну професійну поведінку, зокрема орієнтацію на принципи сталого розвитку та екологічної відповідальності, усвідомлення й прийняття відповідальності за наслідки інноваційних рішень, дотримання принципів наукової доброчесності та підтримання довіри до науки, пріоритет безпеки, запобігання шкоді та відповідального використання наукових результатів, орієнтацію на справедливий розподіл ризиків і користі між усіма зацікавленими сторонами.

Відповідно до визначених компонентів готовності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності встановлено критерії та показники її сформованості. Оцінювання когнітивного компонента здійснюється за здатністю здобувачів освіти ідентифікувати етичні аспекти професійних ситуацій, аналізувати їх та здійснювати системне й структуроване етичне міркування. Сформованість практико-операційного компонента визначається здатністю до багатовимірної аргументації, прогнозування потенційних і віддалених наслідків професійних рішень, а також прийняття обґрунтованих рішень в умовах невизначеності. Рівень сформованості мотиваційно-ціннісного компонента характеризується усвідомленням меж професійної відповідальності, орієнтацією на етичні цінності та готовністю діяти відповідально щодо суспільства, довкілля й професійної спільноти.

Узагальнення результатів першого розділу дає підстави стверджувати, що формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства має здійснюватися на засадах інтеграції фахової, міждисциплінарної, ціннісної та етичної підготовки, а етична відповідальність має бути покладена в основу змісту, організації та оцінювання цього процесу.

Основні результати розділу відображено в наукових працях автора: 9, 31, 32, 33, 56, 57, 66, 69, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111.

Список використаних джерел до розділу 1

1. Aftab, S., Hussain, S., & Al-Kahtani, A. A. (2023). Latest Innovations in Two-dimensional Flexible Nanoelectronics. Advanced Materials. https://doi.org/10.1002/adma.202301280

2. Ahkami, A. H., Qafoku, O., Roose, T., Mou, Q., Lu, Y., Cardon, Z. G., Wu, Y., Chou, C., Fisher, J. B., Varga, T., Handakumbura, P., Aufrecht, J. A., Bhattacharjee, A., & Moran, J. J. (2023). Emerging sensing, imaging, and computational technologies to scale nano-to macroscale rhizosphere dynamics – Review and research perspectives. Soil Biology and Biochemistry, 109253. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2023.109253

3. Alabada, R., Kadhim, M. M., sabri Abbas, Z., Rheima, A. M., Altimari, U. S., Dawood, A. H., jawad al-bayati, A. d., Talib Abed, Z., Saeed Radhi, R., Salam Jaber, A., Hachim, S. K., Ali, F. K., Mahmoud, Z. H., & Kianfar, E. (2023). Investigation of effective parameters in the production of alumina gel through the sol-gel method. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 8, 100405. https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100405

4. Allan, J., Belz, S., Hoeveler, A., Hugas, M., Okuda, H., Patri, A., Rauscher, H., Silva, P., Slikker, W., Sokull-Kluettgen, B., Tong, W., & Anklam, E. (2021). Regulatory landscape of nanotechnology and nanoplastics from a global perspective. Regulatory Toxicology and Pharmacology, 122, 104885. https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2021.104885

5. Anas, M., Khattak, W. A., Falak, A., Farid, A., Majeed, M., Riaz, S., Fahad, S., & Quraishi, U. M. Overview of Nanotechnology in Food Security and Agriculture. 1-21. https://doi.org/10.1002/9781394349012.ch1

6. Araste, F., Bakker, A. D., & Zandieh-Doulabi, B. (2023). Potential and risks of nanotechnology applications in COVID-19-related strategies for pandemic control. Journal of Nanoparticle Research, 25(11). https://doi.org/10.1007/s11051-023-05867-3

7. ASTM International. (2020). ASTM E2456-06(2020) Standard Terminology Relating to Nanotechnology. ASTM International.

8. Bensaude-Vincent, B. (2016). Building Multidisciplinary Research Fields: The Cases of Materials Science, Nanotechnology and Synthetic Biology. In Sociology of the Sciences Yearbook (pp. 45–60). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22683-5_3

9. Bohdanov, I., Sychikova, Y., Kovachov, S., Kurylo, O., & Kryvylova, O. (2024). Chapter 5. Education-Science-Values: A Triple Helix Approach to Nanotechnology Education for Sustainable Development. In redefining higher education: innovation, inclusion, and sustainable development during wartime (pp. 142–181). Technology Center PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-07-8.ch5

10. Brouwer, D., van Duuren-Stuurman, B., Berges, M., Jankowska, E., Bard, D., & Mark, D. (2009). From workplace air measurement results toward estimates of exposure? Development of a strategy to assess exposure to manufactured nano-objects. Journal of Nanoparticle Research, 11(8), 1867–1881. https://doi.org/10.1007/s11051-009-9772-1

11. Buot, F. A. (1993). Mesoscopic physics and nanoelectronics: nanoscience and nanotechnology. Physics Reports, 234(2-3), 73–174. https://doi.org/10.1016/0370-1573(93)90097-w

12. Chen, T., Pang, Z., He, S., Li, Y., Shrestha, S., Little, J. M., Yang, H., Chung, T.-C., Sun, J., Whitley, H. C., Lee, I.-C., Woehl, T. J., Li, T., Hu, L., & Chen, P.-Y. (2024). Machine intelligence-accelerated discovery of all-natural plastic substitutes. Nature Nanotechnology. https://doi.org/10.1038/s41565-024-01635-z

13. Cheng, X., Xie, Q., & Sun, Y. (2023). Advances in nanomaterial-based targeted drug delivery systems. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 11. https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1177151

14. Czap, N. V., Czap, H. J., Lynne, G. D., & Burbach, M. E. (2015). Walk in my shoes: Nudging for empathy conservation. Ecological Economics, 118, 147–158. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.07.010

15. Elzein, B. (2024). Nano Revolution: "Tiny Tech, Big Impact: How Nanotechnology is Driving SDGs Progress". Heliyon, Article e31393. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31393

16. Ericson, T., Kjønstad, B. G., & Barstad, A. (2014). Mindfulness and sustainability. Ecological Economics, 104, 73–79. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.04.007

17. Finardi, U., & Lamberti, C. (2021). Diversity and interdisciplinarity in nanoscience and nanotechnology: a time-related analysis of the subject category. Journal of Nanoparticle Research, 23(1). https://doi.org/10.1007/s11051-020-05119-8

18. Fonash, S. J. (2001). Education and training of the nanotechnology workforce. Journal of Nanoparticle Research, 3(1), 79–82. https://doi.org/10.1023/a:1011472503007

19. Fuhrmann-Lieker, T. Nanoscience or Nanosciences? - The Interdisciplinary Discipline. Nanoethics 18, 15 (2024). https://doi.org/10.1007/s11569-024-00464-7

20. Han, X., Qin, Y., Mei, C., Jiao, F., Khademolqorani, S., & Nooshin Banitaba, S. (2023). Current trends and future perspectives of stroke management through integrating health care team and nanodrug delivery strategy. Frontiers in Cellular Neuroscience, 17. https://doi.org/10.3389/fncel.2023.1266660

21. Husnain Gondal, A., & Tayyiba, L. (2022). Prospects of Using Nanotechnology in Agricultural Growth, Environment and Industrial Food Products. Reviews in Agricultural Science, 10, 68–81. https://doi.org/10.7831/ras.10.0_68

22. Invernizzi, N. Nanotechnology between the lab and the shop floor: what are the effects on labor?. J Nanopart Res 13, 2249–2268 (2011). https://doi.org/10.1007/s11051-011-0333-z

23. ISO. International Organization for Standardization. (2023). 80004-1:2023 Nanotechnologies – Vocabulary – Part 1: Core vocabulary.

24. Jotterand, F. (2006). The Politicization of Science and Technology: Its Implications for Nanotechnology. Journal of Law, Medicine & Ethics, 34(4), 658–666. doi:10.1111/j.1748-720X.2006.00084.x

25. Kaur, I. P., Kakkar, V., Deol, P. K., Yadav, M., Singh, M., & Sharma, I. (2014). Issues and concerns in nanotech product development and its commercialization. Journal of Controlled Release, 193, 51–62. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2014.06.005

26. Khan, A. (2015). Ethical and social implications of nanotechnology. QScience Proceedings, 2015(4), 57. https://doi.org/10.5339/qproc.2015.elc2014.57

27. Khan, A., Ashiq, B., Qadri, T.A. et al.(2025) Nanotechnology Solutions For Advancing Sustainable Development Goals (SDGs): Integrating Nanomaterials For Global Sustainability. BioNanoSci. 15, 590 . https://doi.org/10.1007/s12668-025-02214-9

28. Khatoon, U. T., & Velidandi, A. (2025). An Overview on the Role of Government Initiatives in Nanotechnology Innovation for Sustainable Economic Development and Research Progress. Sustainability, 17(3), 1250. https://doi.org/10.3390/su17031250

29. Khadanga, V., & Mishra, P. C. (2024). A review on toxicity mechanism and risk factors of nanoparticles in respiratory tract. Toxicology, 153781. https://doi.org/10.1016/j.tox.2024.153781

30. Koenderink, A. F., Alu, A., & Polman, A. (2015). Nanophotonics: Shrinking light-based technology. Science, 348(6234), 516–521. https://doi.org/10.1126/science.1261243

31. Kovachov, S., Kryvylova, O., Kurylo, O., Popova, A., Mytsyk, H., & Sychikova, Y. (2024a). Assessing stakeholder perspectives on essential skills in nanoscience: What matters most?. In S. Tolochko (Ed.), Transformation of education: modern challenges (pp. 26–51). Kharkiv: Technology Center PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-06-1.ch2

32. Kovachov, S., Kryvylova, O., Kurylo, O., Bohdanov, I., Popova, A., & Suchikova, Y. (2024b). Skills of Future Nano-Specialists for Electronics and

Energy: Insights from a Delphi Study. In 2024 IEEE 6th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/mees64070.2024.11405110

33. Kovachov, S., Bohdanov, I., Bardus, I., Drozhcha, D., Tikhovod, K., Khrekin, A., Bondarenko, V., Kosogov, I., & Suchikova, Y. (2023). About synthesis mechanism of periodic oxide nanocrystallites on surface of single-crystal InP. Physics and Chemistry of Solid State, 24(1), 159–165. https://doi.org/10.15330/pcss.24.1.159-165

34. Kolomoets A. G. (2023). Dielectric properties of the low-temperature phase transitions in divalent nitrates. Journal of Nano- and Electronic Physics. Vol. 15, No. 1. 01030. DOI: 10.21272/jnep.15(1).01030

35. Kolomoets A. G., Shkola O. V., Lisina L. O., Kuznetsova O. Ya. (2025). Translational twins extraordinary classification of divalent nitrates. Journal of Nano- and Electronic Physics. Vol. 17, No. 2. 02009. DOI: 10.21272/jnep.17(2).02009

36. Kolomoets A. G., Shkola O. V., Lisina L. O. (2024). Phase transitions and structural peculiarities of divalent nitrates. Journal of Nano- and Electronic Physics. Vol. 16, No. 1. 01009. DOI: 10.21272/jnep.16(1).01009

37. Kong, X., Qi, Y., Wang, X., Jiang, R., Wang, J., Fang, Y., Gao, J., & Chu Hwang, K. (2023). Nanoparticle Drug Delivery Systems and Their Applications as Targeted Therapies for Triple Negative Breast Cancer. Progress in Materials Science, 101070. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2023.101070

38. Kumar, A., Tyagi, P.K., Tyagi, S. et al. (2024). Integrating green nanotechnology with sustainable development goals: a pathway to sustainable innovation. Discov Sustain 5, 364 https://doi.org/10.1007/s43621-024-00610-x

39. Kumari, A., Garg, R., & Garg, R. (2023a). Nanotechnology for Sustainable Agriculture, Food and Environment. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003397861

40. Kumari, R., Suman, K., Karmakar, S., Mishra, V., Lakra, S. G., Saurav, G. K., & Mahto, B. K. (2023b). Regulation and safety measures for nanotechnology-

based agri-products. Frontiers in Genome Editing, 5. https://doi.org/10.3389/fgeed.2023.1200987

41. Kuzma, J., & Kuzhabekova, A. (2011). Corporate social responsibility for nanotechnology oversight. Medicine, Health Care and Philosophy, 14(4), 407–419. https://doi.org/10.1007/s11019-011-9330-3

42. Lager, T., & Liiri, E. (2023). From conceptualisation to industrialisation – uncovering the intrinsic nature of product development of non-assembled products. International Journal of Innovation Management. https://doi.org/10.1142/s1363919623500238

43. Lu, J.-C., Jeng, S.-L., & Wang, K. (2009). A Review of Statistical Methods for Quality Improvement and Control in Nanotechnology. Journal of Quality Technology, 41(2), 148–164. https://doi.org/10.1080/00224065.2009.11917770

44. Mahendra Kumar, S., Rajni, Y., & Sandeep Prasad, T. (2023). Recent advances in nanotechnology. International Journal of Nanomaterials, Nanotechnology and Nanomedicine, 9(2), 015–023. https://doi.org/10.17352/2455-3492.000053

45. Malakar, Y., Lacey, J., & Bertsch, P. M. (2022). Towards responsible science and technology: How nanotechnology research and development is shaping risk governance practices in Australia. Humanities and Social Sciences Communications, 9(1). https://doi.org/10.1057/s41599-021-01028-w

46. Malsch, I. (2014). Nano-education from a European perspective: nano-training for non-R&D jobs. Nanotechnology Reviews, 3(2). https://doi.org/10.1515/ntrev-2013-0039

47. Mastrangeli, M., Abbasi, S., Varel, C., Van Hoof, C., Celis, J.-P., & Böhringer, K. F. (2009). Self-assembly from milli- to nanoscales: methods and applications. Journal of Micromechanics and Microengineering, 19(8), 083001. https://doi.org/10.1088/0960-1317/19/8/083001

48. Maynard, A., & Stilgoe, J. (2020). The Ethics of Nanotechnology, Geoengineering and Clean Energy (A. Maynard & J. Stilgoe, Eds.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9781003075028

49. McGinn, R. (2008). Ethics and Nanotechnology: Views of Nanotechnology Researchers. NanoEthics, 2(2), 101–131. https://doi.org/10.1007/s11569-008-0040-0

50. Mearns R & Norton A. (2009) Social dimensions of climate change: Equity and vulnerability in a warming world. World Bank Publications; 2009 Dec 2.

51. Milojević, S. (2012). Multidisciplinary cognitive content of nanoscience and nanotechnology. Journal of Nanoparticle Research, 14(1). https://doi.org/10.1007/s11051-011-0685-4

52. Mollaamin, F., & Monajjemi, M. (2024). Structural, Electromagnetic and Thermodynamic Analysis of Ion Pollutants Adsorption in Water by Gallium Nitride Nanomaterial: a Green Chemistry Application. Russian Journal of Physical Chemistry B, 18(2), 533–548. https://doi.org/10.1134/s199079312402012x

53. Molahalli, V., Shetty, A., Sharma, A., Bijapur, K., Soman, G., & Hegde, G. (2023). Risks and ethics of nanotechnology: an overview. In Nanoparticles and Plant-Microbe Interactions (pp. 35–68). Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90619-7.00014-x

54. Motoyama, Y. (2014). Long-term collaboration between university and industry: A case study of nanotechnology development in Japan. Technology in Society, 36, 39–51. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2013.09.001

55. Murray, P. (2012). The Sustainable Self. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781849775212

56. Nesterenko, M., Mytsyk, H., Petryk, K. et al. From Resistance to Acceptance: The Role of Higher Education in the Integration of STEM Education for Sustainable Development. Journal for STEM Educ Res (2024). https://doi.org/10.1007/s41979-024-00141-0

57. Nesterenko M., Mytsyk H., Petryk K., Kryvylova O., Kovachov S., & Suchikova Y. (2025). STEM educatison through the eyes of teachers from various

specialties in Ukrainian Pedagogical University. International Journal of Educational Research Open, 9, 100464. https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100464

58. Nordmann A (2004) Converging technologies – shaping the future of European societies. European Commission, Brussels

59. Nordmann A (2008) Philosophy of nanotechnoscience. In: Schmid G, Krug H, Waser R, Vogel V, Fuchs H, Grätzel M, Kalyanasundaram K, Chi L (eds) Nanotechnology. Principles and fundamentals, vol 1. Weinheim, Wiley, pp 217–244

60. Nyandoro, V.O., Masioge, H.K. & Malago, Z.L. Biogenic synthesis of metal nanoparticles: promoting green nanotechnology and sustainable development goals. Clean Techn Environ Policy 27, 517–530 (2025). https://doi.org/10.1007/s10098-024-02966-0

61. Omietimi, H. B., Afolalu, S. A., Kayode, J. F., Monye, S. I., Lawal, S. L., & Emetere, M. E. (2023). An overview of nanotechnology and its application. E3S Web of Conferences, 391, 01079. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101079

62. Pandey, G., & Jain, P. (2020). Assessing the nanotechnology on the grounds of costs, benefits, and risks. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 9(1). https://doi.org/10.1186/s43088-020-00085-5

63. Pappas, J. B., & Pappas, E. C. (2014). The Sustainable Personality: Values and Behaviors in Individual Sustainability. International Journal of Higher Education, 4(1). https://doi.org/10.5430/ijhe.v4n1p12

64. Peng, L., Peng, H., Li, W., & Zhao, D. (2022). Monomicellar assembly to synthesize structured and functional mesoporous carbonaceous nanomaterials. Nature Protocols. https://doi.org/10.1038/s41596-022-00784-6

65. Pektas, M., Alev, N., Kurnaz, M. A., & Bayraktar, G. (2015). Physics, Chemistry and Biology Student Teachers' Understandings of Nanotechnology. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 191, 1767-1771. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.677

66. Petryk, K., Nesterenko, M., Mytsyk, H., Kovachov, S., Kryvylova, O., & Suchikova, Y. (2024). A cross-specialization study of pre-service teachers'

perception of STEM education. International Journal of Science Education, 1–27. https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2432489

67. Revenko, A., Suchikova, Y., Duleba, D., Johnson, R. P., Konuhova, M., Kongi, N., & Popov, A. I. (2026). Porous silicon as a compliant buffer for 3C-SiC/Si heteroepitaxy. Physica B: Condensed Matter, 734, 418626. https://doi.org/10.1016/j.physb.2026.418626

68. Plikusiene, I., & Ramanaviciene, A. (2023). Investigation of Biomolecule Interactions: Optical-, Electrochemical-, and Acoustic-Based Biosensors. Biosensors, 13(2), 292. https://doi.org/10.3390/bios13020292

69. Popova, A., Kovachov, S., Lopatina, H., Tsybuliak, N., Suchikova, Y., & Bohdanov, I. (2023). High-Quality Digital Bichronous Education for Nanoengineers During the War in Ukraine: Does Technology Knowledge Matter? In 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). IEEE. https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402460

70. Pushparaj, K., Liu, W.-C., Meyyazhagan, A., Orlacchio, A., Pappusamy, M., Vadivalagan, C., Robert, A. A., Arumugam, V. A., Kamyab, H., Klemeš, J. J., Khademi, T., Mesbah, M., Chelliapan, S., & Balasubramanian, B. (2022). Nano- from nature to nurture: A comprehensive review on facets, trends, perspectives and sustainability of nanotechnology in the food sector. Energy, 240, 122732. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122732

71. Roco, M.C., Bainbridge, W.S. (2003). Overview Converging Technologies for Improving Human Performance. In: Roco, M.C., Bainbridge, W.S. (eds) Converging Technologies for Improving Human Performance. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-0359-8_1

72. Roco, M.C. (2011). The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years. J Nanopart Res 13, 427–445 https://doi.org/10.1007/s11051-010-0192-z

73. Sabzi, M., Mousavi Anijdan, S. H., Shamsodin, M., Farzam, M., Hojjati-Najafabadi, A., Feng, P., Park, N., & Lee, U. (2023). A Review on Sustainable Manufacturing of Ceramic-Based Thin Films by Chemical Vapor Deposition

(CVD): Reactions Kinetics and the Deposition Mechanisms. Coatings, 13(1), 188. https://doi.org/10.3390/coatings13010188

74. San Valentin, E. M. D., Barcena, A. J. R., Klusman, C., Martin, B., & Melancon, M. P. (2022). Nano-embedded medical devices and delivery systems in interventional radiology. WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology. https://doi.org/10.1002/wnan.1841

75. Schultz, L. I. (2010). Nanotechnology's triple helix: a case study of the University at Albany's College of Nanoscale Science and Engineering. The Journal of Technology Transfer, 36(5), 546–564. https://doi.org/10.1007/s10961-010-9201-8

76. Shea, C. M. (2005). Future management research directions in nanotechnology: A case study. Journal of Engineering and Technology Management, 22(3), 185–200. https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2005.06.002

77. Soltani, A. M., & Pouypouy, H. (2019). Standardization and Regulations of Nanotechnology and Recent Government Policies Across the World on Nanomaterials. In Advances in Phytonanotechnology (pp. 419–446). Elsevier. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815322-2.00020-1

78. Sorensen, K. L., & Johansen, T. A. (2016). Thermodynamics of a carbon nano-materials based icing protection system for unmanned aerial vehicle. In 2016 IEEE Aerospace Conference. IEEE. https://doi.org/10.1109/aero.2016.7500528

79. Stephan, P., Black, G. C., & Chang, T. (2007). The small size of the small scale market: The early-stage labor market for highly skilled nanotechnology workers. Research Policy, 36(6), 887-892. https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.02.006

80. Suchikova, Y., Bohdanov, I., Kovachov, S., Bardus, I., Lazarenko, A., & Shishkin, G. (2021). Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis. У 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). IEEE. https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575745

81. Suchikova, Y., Kovachov, S., Kosogov, I., Bohdanov, I., Popov, A. I., & Popov, A. I. (2024a). Improvement of ß-SiC/por-Si/mono-Si Heterostructures for

Supercapacitor Applications by Mitigating Lattice Mismatch and Improving Electrochemical Performance. In 2024 IEEE 14th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP) (pp. 1–5). IEEE. https://doi.org/10.1109/nap62956.2024.10739751

82. Suchikova, Y., Kovachov, S., Karipbaev, Z., Zhydachevskyy, Y., Bohdanov, I., & Popov, A. I. (2024b). Investigation of Photoluminescence and Raman Emission of Porous Gallium Phosphide. In 2024 IEEE 42nd International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) (pp. 227–230). IEEE. https://doi.org/10.1109/elnano63394.2024.10756876

83. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I., Kosogov, I., Drozhcha, D., & Popov, A. I. (2024c). Electrochemical Synthesis and Characterization of AlGaAs/GaAs Nanostructured Heterostructures for Advanced Electronic and Optoelectronic Applications. In 2024 IEEE 7th International Conference on Smart Technologies in Power Engineering and Electronics (STEE) (pp. TT3.24.1—TT3.24.4). IEEE. https://doi.org/10.1109/stee63556.2024.10747853

84. Suchikova, Y., Nazarovets, S., & Popov, A. I. (2025a). Electrochemical Etching vs. Electrochemical Deposition: A Comparative Bibliometric Analysis. Electrochem, 6(2), 18. https://doi.org/10.3390/electrochem6020018

85. Suchikova, Y., Nazarovets, S., Konuhova, M., & Popov, A. I. (2025b). Binary Oxide Ceramics (TiO2, ZnO, Al2O3, SiO2, CeO2, Fe2O3, and WO3) for Solar Cell Applications: A Comparative and Bibliometric Analysis. Ceramics, 8(4), 119. https://doi.org/10.3390/ceramics8040119

86. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I., Popov, A. I., Karipbayev, Z. T., Kozlovskiy, A. L., & Konuhova, M. (2025c). Investigation of Phase Segregation in Highly Doped InP by Selective Electrochemical Etching. Technologies, 13(9), 395. https://doi.org/10.3390/technologies13090395

87. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I., Kosogov, I., Drozhcha, D., & Popov, A. I. (2025d). New Approach to Synthesizing the CdO/por-CdS/CdS Heterostructure. In 2025 IEEE 6th KhPI Week on Advanced Technology

(KhPIWeek) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/khpiweek61436.2025.11288657

88. Sychikova, Y., Nesterenko, M., Mytsyk, H., Petryk, K., & Kovachov, S. (2024). Building the future through STEM education: a catalyst for sustainable development and national revival of Ukraine. In redefining higher education: innovation, inclusion, and sustainable development during wartime (pp. 116–141). Technology Center PC. https://doi.org/10.15587/10.15587/978-617-8360-07-8.ch

89. Szczyglewska, P., Feliczak-Guzik, A., & Nowak, I. (2023). Nanotechnology–General Aspects: A Chemical Reduction Approach to the Synthesis of Nanoparticles. Molecules, 28(13), 4932. https://doi.org/10.3390/molecules28134932

90. Usseinov, A., Koishybayeva, Z., Platonenko, A., Akilbekov, A., Purans, J., Pankratov, V., Suchikova, Y., & Popov, A. I. (2021). Ab-Initio Calculations of Oxygen Vacancy in Ga2O3 Crystals. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 58(2), 3–10. https://doi.org/10.2478/lpts-2021-0007

91. Vanasupa, L., Ritter, M., Schader, B., Chen, K., Savage, R., Schwartz, P., & Slivovsky, L. (2006). Nanotechnology, Biology, Ethics and Society: Overcoming the Multidisciplinary Teaching Challenges. MRS Proceedings, 931. https://doi.org/10.1557/proc-0931-kk01-09

92. Vambol, S., Vambol, V., Sychikova, Y., & Deyneko, N. (2017). Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(10 (85)), 27–36. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.85847

93. Viseu, A. (2015). Caring for nanotechnology? Being an integrated social scientist. Social Studies of Science. https://doi.org/10.1177/0306312715598666

94. Viseu, A & Maguire, H. (2012)Integrating and Enacting 'Social and Ethical Issues' in Nanotechnology Practices. Nanoethics 6, 195–209 . https://doi.org/10.1007/s11569-012-0162-2

95. Weil, V. (2003). Zeroing in on ethical issues in nanotechnology. Proceedings of the IEEE, 9(11), 1976–1979.

96. Weinbub, J., & Kosik, R. (2022). Computational perspective on recent advances in quantum electronics: from electron quantum optics to nanoelectronic devices and systems. Journal of Physics: Condensed Matter, 34(16), 163001. https://doi.org/10.1088/1361-648x/ac49c6

97. Yang, L., Zhu, Q., Yang, K., Xu, X., Huang, J., Chen, H., & Wang, H. (2022). A Review on the Application of Cobalt-Based Nanomaterials in Supercapacitors. Nanomaterials, 12(22), 4065. https://doi.org/10.3390/nano12224065

98. Yi, J., & Xianyu, Y. (2022). Gold Nanomaterials-Implemented Wearable Sensors for Healthcare Applications. Advanced Functional Materials, 2113012. https://doi.org/10.1002/adfm.202113012

99. Ковачов, С., Кривильова, О., Попова, А., & Сичікова, Я. (2024). Огляд кристалографічних баз даних для навчання майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства в умовах асинхронного навчання. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету, (1), 171–188. https://doi.org/10.32782/2412-9208-2024-1-171-188

100. Ковачов, С., Сичікова, Я., Попова, А., & Богданов, І. (2023). Засоби та методи асинхронного навчання при підготовці наноінженерів до професійної діяльності. Наукові записки БДПУ, Серія: Педагогічні науки, (1), 264-278.

101. Бардус, І., Ковачов, С., Богданов, І., & Сичікова, Я. (2022). Професійна діяльність фахівця в галузі наноматеріалознавства зі створення наноструктур на поверхні напівпровідників. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 1, 55–64. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/923

102. Бардус, І., Ковачов, С., Богданов, І., & Сичікова, Я. (2022 b). Професійна компетентність фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 3, 237–248. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/428

103. Лопатіна, Г., Попова, А., Цибуляк, Н., Ковачов, С., & Сичікова, Я. (2024). Інтеграція науки, освіти та інновацій для сталого розвитку високотехнологічних галузей: модель потрійної спіралі. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету, (1), 67–80. https://doi.org/10.32782/2412-9208-2024-1-67-80

104. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023 a). Методика М.В. 1.5–2023 «Наноматеріали. Синтез плівок $CuIn(Ga)Se_2$ для застосувань у сонячній енергетиці».

105. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023 b). Методика М.В. 1.4–2023 «Наноматеріали. Синтез гетероструктури CdO/por-CdS/CdS».

106. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023 c). Методика М.В. 1.3–2023 «Наноматеріали. Синтез нанодротів $Al_xGa_{1-x}As$ на поверхні mono-GaAs».

107. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023 d). Методика М.В. 1.2–2023 «Наноматеріали. Синтез гетероструктури CdxTeyOz/CdS/ZnO методом SILAR».

108. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023 e). Методика М.В. 1.1–2023 «Наноматеріали. Синтез наноструктурованого β-SiC на кремнієвій підкладці».

109. Сичікова, Я., Попова, А., & Ковачов, С. (2023 f). Концепція професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

110. Сичікова, Я. О., Ковачов, С. С., & Богданов, І. Т. (2025a). Спосіб отримання плівки β-SiC на кремнієвій підкладці. Патент № 158161 (Україна), бюл. № 2/2025. Дата подання заявки: 13.11.2023. Дата, з якої є чинними права: 09.01.2025.

111. Сичікова, Я. О., Ковачов, С. С., & Богданов, І. Т. (2025b). Спосіб синтезу гетероструктури ZnO/ZnS/por-Si. Патент № 158162 (Україна), бюл. № 2/2025. Дата подання заявки: 14.11.2023. Дата, з якої є чинними права: 09.01.2025. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1836097/

РОЗДІЛ 2
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

2.1. Імерсивне освітнє середовище як основа професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

При розробці надійної системи професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства важливо базувати освітнє середовище на трьох основних компонентах: освіта, наука та цінності, де саме ціннісний вимір задає нормативну рамку етичної відповідальності. У такій моделі етика не постає як окремий навчальний модуль, а інтегрується в логіку професійної підготовки як наскрізний принцип прийняття рішень. Єдність і бездоганна інтеграція цих компонентів в освітні плани є критично важливою для створення імерсивного освітнього середовища. Ця інтеграція гарантує, що кожен аспект не викладається ізольовано, а як взаємопов'язані елементи, які покращують досвід навчання та розуміння здобувачів вищої освіти.

Діаграма Венна (Рис. 2.1) ілюструє, як кожен сектор унікально сприяє розвитку майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

На стику освіти та науки «Інноваційне вирішення проблем» постає як ключовий напрям, що відображає інтеграцію традиційного навчання з передовою науковою практикою. У межах цієї моделі освітній процес заохочує не лише набуття знань, а й їх інноваційне застосування. Таке поєднання формує здатність підходити до складних проблем через пошук нових рішень і є невід'ємною частиною галузі наноматеріалознавства, у якій професійні завдання потребують не лише аналітичного мислення, а й творчих проривів. Водночас інноваційне вирішення проблем у галузі наноматеріалознавства передбачає усвідомлення відповідальності за вибір дослідницьких підходів, оцінювання потенційних ризиків і наслідків ще на етапі постановки наукового завдання. Таким чином, інноваційність у цій

моделі є невіддільною від етичної рефлексії щодо можливого впливу результатів досліджень.

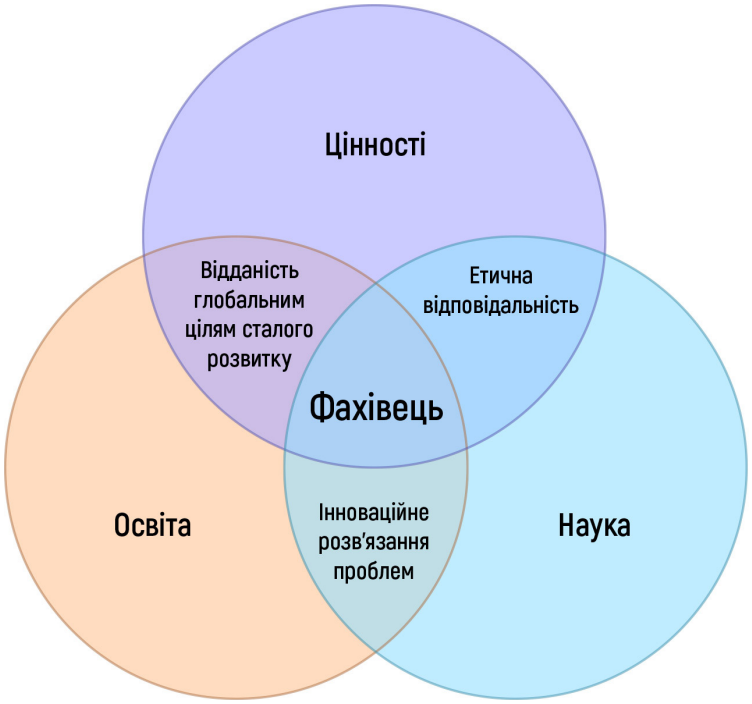

Рис. 2.1. Імерсивне освітнє середовище підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства

На перетині науки і цінностей центральне місце посідає етична відповідальність, що підкреслює значущість етичного виміру наукової діяльності. У галузі наноматеріалознавства фахівці мають орієнтуватися в етичних вимірах власної дослідницької діяльності, поєднуючи технологічні досягнення з урахуванням питань громадського здоров'я, безпеки та впливу на довкілля. Це актуалізує необхідність ціннісно-орієнтованого підходу до наукових досліджень, у межах якого відповідальність розглядається як невід'ємний принцип на всіх етапах відкриття, розроблення та застосування.

Взаємодія освіти та цінностей актуалізує відданість глобальним цілям сталого розвитку, що відображає інтеграцію принципів сталого розвитку в освітній зміст. Підготовка майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства – це не лише передача знань, а й формування відповідального ставлення до довкілля, суспільства та довгострокових наслідків упровадження нанотехнологічних рішень. Така орієнтація забезпечує підготовку фахівців,

які є не лише компетентними, а й здатними спрямовувати свої професійні знання та вміння на досягнення цілей сталого розвитку.

У центрі всіх трьох кіл перебуває фахівець – професіонал, який уособлює інтеграцію освіти, наукового мислення та стійкої системи цінностей. Такі фахівці не лише здатні здійснювати передові дослідження й розробляти інноваційні технології, а й глибоко усвідомлюють ширший вплив своєї діяльності та несуть особисту й професійну відповідальність за наслідки ухвалених наукових і технологічних рішень. Вони здатні продуктивно реалізовувати себе у професійній сфері, водночас орієнтуючись на цілі суспільного розвитку та збереження довкілля. Саме така інтеграція знань, практики та цінностей створює передумови для формування етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності фахівця.

Запропонована модель освітнього середовища – це більше, ніж просто простір для навчання; це екосистема, яка узгоджується з моделлю потрійної спіралі університет-промисловість-держава (Lopatina et al., 2024), встановлюючи симбіотичні відносини, де кожна сутність відіграє ключову роль у набуванні та застосуванні знань (Рис. 2.2).

Екосистема наноосвіти є рушієм гармонійної інтеграції принципів сталого розвитку в області навчання нанотехнологіям (Kurylo et al., 2024). Ця екосистема є складною, але добре збалансованою структурою, де освіта, наука та цінності перетинаються під впливом держави, промисловості та університетів, щоб підготувати всебічно розвинених фахівців в галузі наноматеріалознавства (Aleksandrova et al., 2024).

В основі цієї екосистеми лежить освіта, де здобувачі освіти мають глибоке розуміння принципів і практики нанонауки. Державна політика та фінансування разом із законодавчою та нормативною базою гарантують, що освітні програми не лише відповідають високим стандартам, але й узгоджені з національними та глобальними цілями сталого розвитку. Ця базова підтримка дозволяє закладам вищої освіти надавати найсучасніші знання, одночасно

сприяючи відданості екологічним практикам. Таким чином, держава виступає не лише регулятором якості освіти, але й носієм інституційної відповідальності за етичні рамки розвитку нанотехнологій.

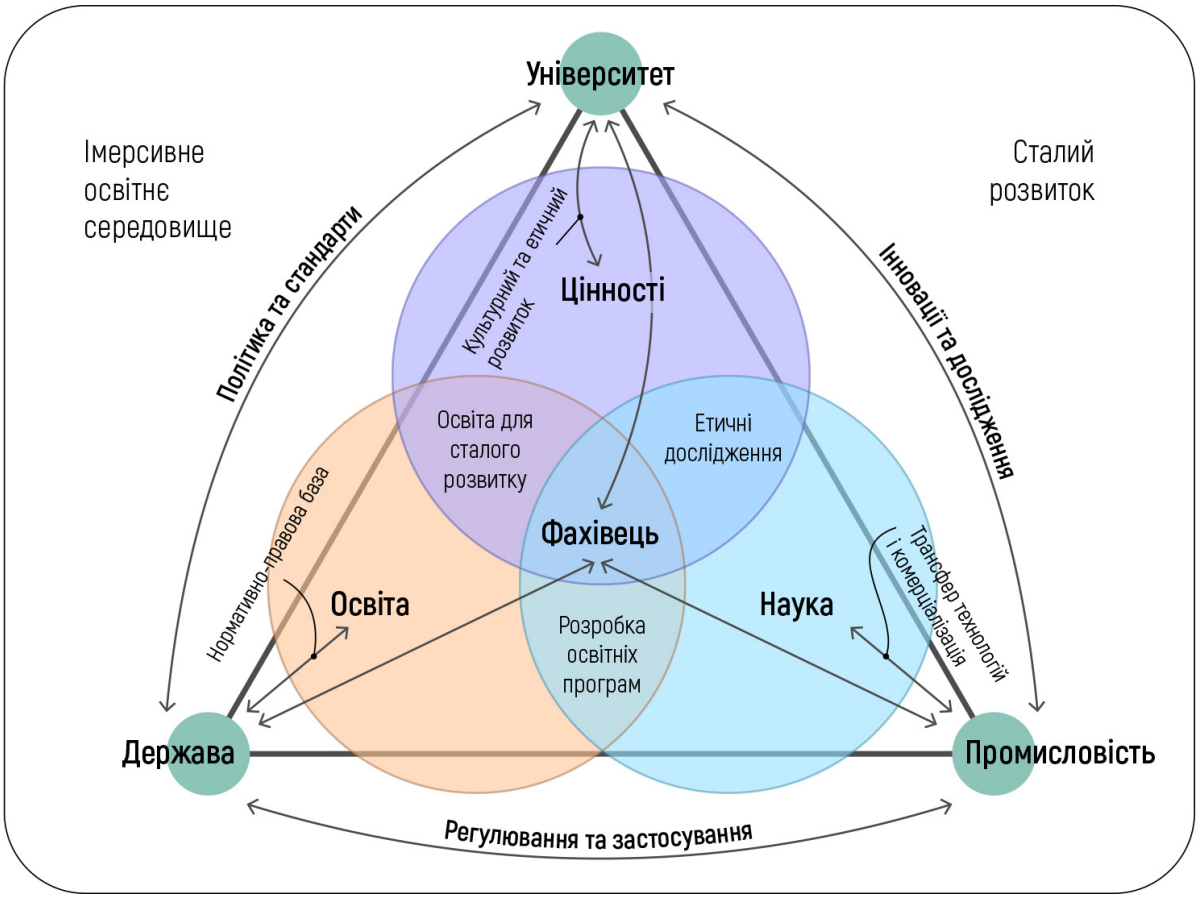

Рис. 2.2 Екосистема наноосвіти

Поєднання освіти та науки виступає підґрунтям інновацій, що реалізуються через практику інноваційного розв'язання проблем (Lopatina et al., 2024). Така практика формується в межах гнучкої та динамічної освітньої програми, яка заохочує здобувачів вищої освіти до творчого мислення та застосування знань у реальних професійних ситуаціях. Важливу роль у цьому процесі відіграє промисловість, оскільки вона забезпечує умови для трансферу технологій і їх комерціалізації, що, своєю чергою, актуалізує питання відповідальності бізнесу за безпечне, етично виважене та соціально прийнятне використання наноматеріалів.

Університетське середовище є каталізатором впровадження цінностей в екосистему, сприяння культурному та етичному розвитку (Aleksandrova et al., 2024). Тут здобувачі вищої освіти вчаться інтегрувати етичні міркування у свої

наукові починання, гарантуючи, що їхня майбутня робота фахівців в галузі наноматеріалознавства позитивно вплине на суспільство та навколишнє середовище (Suchikova et al., 2025). Залучення до промисловості ще більше збагачує це навчання, дозволяючи студентам на власні очі відчути практичне застосування цих цінностей у бізнес-практиці та технологічному розвитку (Kovachov et al., 2023).

По суті, екосистема наноосвіти відіграє ключову роль у підготовці фахівців, які не лише володіють технічними знаннями, а й характеризуються етичною свідомістю та зорієнтованістю на сталий розвиток. Синергія між компонентами потрійної спіралі – державою, університетом і промисловістю – створює імерсивне та сприятливе середовище, у якому майбутні фахівці у галузі нанотехнологій мають можливість професійно формуватися й розвиватися. Такі фахівці постають як професіонали, здатні відповідати на виклики XXI століття, керуючись інноваційністю, етичною відповідальністю та орієнтацією на утвердження принципів сталого розвитку у своїй професійній діяльності.

У цій екосистемі фахівці виступають ключовими суб'єктами змін. Їхня підготовка поєднує знання, практичний досвід і ціннісні орієнтири, зорієнтовані на сталий розвиток. Такі фахівці є важливою ланкою моделі потрійної спіралі, здатною застосовувати професійні знання та вміння для підвищення суспільного добробуту, стимулювання економічного розвитку й підтримання екологічної рівноваги.

Фахівці у галузі наноматеріалознавства – це суб'єкти професійної діяльності, професійна ідентичність яких визначається змістом наукової, інженерної чи прикладної практики, пов'язаної з дослідженням, синтезом, модифікацією, характеризацією та застосуванням наноматеріалів і наноструктур, використанням відповідного методологічного й технологічного інструментарію, інтеграцією міждисциплінарних знань для розв'язання професійних завдань і відповідальним урахуванням наукових, технологічних, етичних, соціальних, екологічних та безпекових наслідків такої діяльності.

Однак такі фахівці характеризуються не лише рівнем технічної компетентності, але й інтегрованою етичною відповідальністю, що проявляється у здатності фахівця усвідомлювати моральні, соціальні, екологічні та безпекові наслідки власних професійних рішень, ухвалювати їх на основі етичних принципів і нести відповідальність за прямі та опосередковані результати своєї діяльності в умовах складності, міждисциплінарності та наукової невизначеності.

Фахівці у галузі наноматеріалознавства діють в межах складної науково-технологічної екосистеми, взаємодіючи з академічним середовищем, промисловістю та державними інституціями, і несуть відповідальність за узгодження інноваційної діяльності з принципами сталого розвитку, наукової доброчесності та суспільної користі. У такій моделі етична відповідальність постає як результат взаємодії освітніх, наукових і соціальних чинників, що зумовлює необхідність її подальшого концептуального осмислення та чіткого визначення в межах підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Курс «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» (Додаток Б https://doi.org/10.5281/zenodo.19948355) розроблено в межах дисертаційного дослідження як освітній інструмент формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на засадах етичної відповідальності. У дослідженні вона розглядається як інтегрований, багатовимірний і системоутворювальний чинник професійної готовності, що опосередковує ухвалення наукових і технологічних рішень у ситуаціях невизначеності, потенційного ризику та конфлікту інтересів (Ковачов та ін., 2026).

Місце курсу в логіці дослідження визначається його функцією цілеспрямованої ціннісної актуалізації. Він не замінює фахову підготовку і не дублює зміст технічних дисциплін, а створює умови для осмислення етичних наслідків професійної діяльності в наноматеріалознавстві, де рішення часто мають відкладений екологічний, соціальний або безпековий ефект. Таким

чином, курс виступає педагогічним засобом формування внутрішніх ціннісних орієнтацій, що є необхідною складовою готовності до відповідальної професійної діяльності.

Принциповою особливістю курсу є те, що він не реалізується як окрема навчальна дисципліна з фіксованим розкладом і жорстко визначеною послідовністю тем. Курс надається здобувачам для самостійного опрацювання у вигляді структурованого комплексу навчально-методичних матеріалів, а також функціонує як методичний ресурс, елементи якого можуть інтегруватися викладачами у зміст конкретних фахових дисциплін.

Такий розподілений формат упровадження зумовлений тим, що формування готовності до професійної діяльності не відбувається лінійно або в межах одного навчального курсу. Навпаки, воно потребує багаторазового повернення до етичних питань у різних контекстах – під час вивчення властивостей наноматеріалів, методів їх синтезу, оцінки екологічних ризиків, аналізу сфер застосування та комунікації результатів досліджень. Курс у цьому сенсі виконує роль наскрізної ціннісної рамки, а не ізольованого освітнього модуля.

У межах дослідження методично фіксованими є лише два обов’язкові етапи роботи зі здобувачами. Перший етап передбачає початковий зріз у формі сценарного опитування та усного обговорення, що виконує діагностичну та орієнтаційну функцію: дозволяє виявити вихідний рівень готовності до професійної діяльності, а також актуалізувати проблемне поле для подальшої роботи. Другий етап – підсумковий зріз, який також проводиться у формі сценарного опитування та рефлексивного обговорення і спрямований на фіксацію змін у логіці міркування, аргументації та ціннісних позиціях здобувачів.

Усі інші елементи курсу – модулі, сценарні завдання, чек-листи, гайди, інфографіки, презентаційні та відеоматеріали – можуть використовуватися гнучко, залежно від специфіки дисципліни, педагогічного задуму викладача та навчальної ситуації. Такий підхід дозволяє уникнути формалізації етичної

проблематики та сприяє її органічному включенню в професійний контекст підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Отже, у дисертаційному дослідженні курс «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» постає не як окремий освітній продукт, а як розподілена освітня технологія, спрямована на формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців. Саме така логіка побудови курсу забезпечує його узгодженість із загальною моделлю готовності до професійної діяльності та створює підґрунтя для подальшого сценарного оцінювання результатів.

Побудова курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» ґрунтується на розумінні того, що етична відповідальність у галузі наноматеріалознавства не може бути сформована шляхом трансляції нормативних приписів або засвоєння абстрактних етичних принципів. У межах дисертаційного дослідження вона розглядається як системоутворювальний чинник професійної готовності майбутнього фахівця, що виявляється насамперед у способі мислення, аргументації та ухвалення рішень у професійно значущих ситуаціях.

Концептуально курс спирається на положення про те, що професійна діяльність у сфері наноматеріалознавства характеризується високим рівнем наукової та технологічної невизначеності, міждисциплінарністю та відкладеним характером наслідків. За таких умов етична відповідальність не зводиться до дотримання формальних норм або регуляторних вимог, а виступає внутрішнім ціннісним орієнтиром, який визначає межі допустимого, пріоритети безпеки, ставлення до ризику та здатність нести відповідальність брати на себе відповідальність за непрямі й довгострокові ефекти власної діяльності.

Саме тому у дослідженні етична відповідальність інтегрується у системоутворювальний чинник професійної готовності та розглядається у тісному зв’язку з професійною ідентичністю майбутніх фахівців. Курс не формує «правильних» моральних позицій, а створює умови для усвідомленого

співвіднесення професійних дій із власними ціннісними установками, соціальними очікуваннями та етичними наслідками технологічних рішень.

Одним із принципових методологічних рішень у проєктуванні курсу є відмова від формальних тестових форм контролю. Такий підхід зумовлений тим, що тестування здатне фіксувати лише репродуктивний рівень знань або декларативне засвоєння етичних норм, але не дозволяє оцінити сформованість ціннісного компоненту готовності, який проявляється у складних, контекстно залежних судженнях.

Етичні ситуації в нанонауці та нанотехнологіях, як правило, не мають однозначних розв'язків і передбачають балансування між конкуруючими цінностями: науковою свободою і безпекою, відкритістю і запобіганням шкоді, інноваційністю і принципом обережності. За таких умов використання тестів із наперед заданими відповідями не лише методично необґрунтоване, але й потенційно шкідливе, оскільки формує уявлення про етику як про набір формальних правил, а не як про процес відповідального міркування.

Відмова від тестоцентричної моделі дозволила зосередити навчальний процес на якості аргументації, здатності працювати з невизначеністю та рефлексії власної позиції, що є ключовими показниками сформованості етичної відповідальності як ціннісної характеристики.

Методологічною основою курсу обрано сценарний підхід, який дозволяє моделювати професійно значущі ситуації, максимально наближені до реальної практики наноматеріалознавства. Сценарії та кейси навмисно конструюються таким чином, щоб не містити єдиної правильної відповіді та спонукати здобувачів до аналізу альтернатив, ризиків і наслідків різних стратегій дій.

Сценарний підхід у курсі виконує подвійну функцію. З одного боку, він є навчальним інструментом, що забезпечує занурення здобувачів у складні етичні ситуації та стимулює рефлексивне осмислення професійних рішень. З іншого боку, він виступає методичною основою оцінювання, оскільки саме сценарні відповіді та усні обговорення дозволяють виявити рівень

сформованості готовності до професійної діяльності, зокрема логіку міркування та аргументаційні стратегії здобувачів.

Важливою методологічною засадою курсу є його розподілений формат реалізації. Курс не передбачає жорстко фіксованої послідовності проходження модулів і не функціонує як автономна навчальна дисципліна. Такий підхід ґрунтується на положенні про те, що формування ціннісних орієнтацій відбувається поступово і потребує багаторазового повернення до етичних питань у різних навчальних і професійних контекстах.

Розподілений формат дозволяє інтегрувати елементи курсу в різні фахові дисципліни, де етична проблематика виникає природно – під час аналізу властивостей наноматеріалів, оцінки екологічних ризиків, обговорення сфер застосування або комунікації результатів досліджень. При цьому викладачі самостійно визначають, які саме елементи курсу доцільно використовувати, у який момент і в якому обсязі, що забезпечує гнучкість і адаптивність освітнього процесу.

Методологічна логіка курсу поєднує мінімальний рівень обов'язковості з максимальною педагогічною свободою. Обов'язковими є лише два етапи – початковий і підсумковий сценарні зрізи з усним обговоренням, які забезпечують порівнюваність результатів і можливість фіксації змін у сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Усі інші елементи курсу мають рекомендаційний характер і слугують ресурсом для викладачів і здобувачів. Така модель дозволяє уникнути формалізації етики, зберегти її зв'язок із реальними професійними ситуаціями та забезпечити узгодженість курсу з різними освітніми контекстами підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Архітектура курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» вибудувана відповідно до логіки поетапної актуалізації та поглиблення етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності майбутнього фахівця у галузі наноматеріалознавства. Модульна структура

курсу не має на меті створення лінійної «траєкторії засвоєння знань», а слугує концептуальною рамкою, що дозволяє систематизувати різні виміри етичної проблематики та забезпечити можливість їх гнучкого впровадження у фахову підготовку.

Кожен модуль курсу концептуально відповідає окремому аспекту етичної відповідальності, який є релевантним для професійної діяльності в галузі наноматеріалознавства. Модулі не пов’язані жорсткою послідовністю і можуть використовуватися автономно або в різних комбінаціях залежно від освітнього контексту. Такий підхід відображає розуміння того, що етичні виклики в нанонауці не виникають «по черзі», а проявляються одночасно та перетинаються у реальних професійних ситуаціях.

Внутрішня логіка курсу забезпечує їх концептуальну узгодженість: усі модулі апелюють до роботи з невизначеністю, аналізу наслідків рішень, врахування множинності зацікавлених сторін і необхідності ціннісного вибору. Це дозволяє розглядати курс як цілісну систему, попри його розподілений формат реалізації.

Перший модуль «Екологічна етика в наноматеріалознавстві» зосереджений на формуванні екологічно орієнтованого етичного міркування як базового елементу готовності до професійної діяльності. У межах модуля екологічна етика розглядається не як дотримання окремих стандартів або нормативів, а як здатність мислити в категоріях життєвого циклу наноматеріалів, системних і відкладених ефектів, а також усвідомлювати обмеженість наявного наукового знання щодо довгострокового впливу наноструктур.

Модуль створює умови для переосмислення поширених уявлень про «екологічну нейтральність» або апріорну корисність нанотехнологічних рішень і спрямований на формування відповідального ставлення до ризиків, які можуть проявитися поза межами первинного контексту застосування матеріалів.

Другий модуль «Відповідальні дослідження та інновації (RRI)» орієнтований на осмислення інноваційної діяльності як соціально й ціннісно зумовленого процесу. У межах цього модуля готовність до професійної діяльності розглядається через призму відповідальних досліджень та інновацій, зокрема питань залучення зацікавлених сторін, балансування між швидкістю впровадження та безпекою, а також можливостей етичного втручання на різних етапах інноваційного циклу.

Модуль сприяє формуванню розуміння того, що технічна досконаліть або економічна ефективність інновації не є достатніми підставами для її беззастережного впровадження, а відповідальність фахівця включає оцінку соціальних наслідків і потенційних асиметрій впливу.

Третій модуль «Відкритість і прозорість у наукових дослідженнях» присвячений аналізу відкритості та прозорості як етичних практик у наноматеріалознавстві. У межах модуля відкритість не розглядається як універсальна або безумовна цінність, а подається як контекстно залежне рішення, що потребує етичного налаштування з урахуванням відтворюваності, коректності інтерпретації, ризиків хибного використання даних і питань справедливого доступу.

Модуль формує у здобувачів здатність розрізняти формальне дотримання вимог відкритої науки та етичну відповідальність за спосіб, обсяг і момент розкриття інформації, що є особливо важливим у високоризикових або міждисциплінарних дослідженнях.

Четвертий модуль «Подвійне використання та запобігання шкоді» зосереджений на проблематиці подвійного використання (dual-use) результатів наноматеріалознавчих досліджень. Подвійне використання розглядається не як виняткова або маргінальна ситуація, а як структурна характеристика сучасних високих технологій.

У межах модуля етична відповідальність інтерпретується як здатність ідентифікувати потенційні ризики вторинного використання, усвідомлювати межі власного контролю над подальшими застосуваннями розробок і брати

участь у формуванні процедурних механізмів запобігання шкоді, включно з комунікацією невизначеностей та обмеженням поширення чутливої інформації.

П’ятий модуль «Справедливість та інклюзивність у високих технологіях» присвячений осмисленню справедливості та інклюзивності як чинників якості та легітимності наукових і технологічних рішень. У межах модуля етична відповідальність розглядається через призму доступу до результатів нанотехнологічних інновацій, визнання різних типів наукового внеску та врахування перспектив тих груп, які не беруть безпосередньої участі в ухваленні рішень, але зазнають їхніх наслідків.

Модуль сприяє формуванню розуміння того, що ігнорування соціального контексту та нерівностей доступу може знижувати не лише соціальну прийнятність, а й наукову якість і стійкість технологічних рішень.

Таким чином, модульна архітектура курсу забезпечує системне охоплення ключових вимірів етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності майбутнього фахівця у галузі наноматеріалознавства. Кожен модуль може бути використаний автономно, водночас зберігаючи концептуальний зв’язок із загальною моделлю готовності та сценарним оцінюванням, що створює підґрунтя для подальшого аналізу дидактичного дизайну та навчально-методичного забезпечення курсу.

Дидактичний дизайн курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» ґрунтується на положенні про те, що формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства потребує спеціально організованого освітнього середовища, у якому здобувачі мають можливість працювати з невизначеністю, альтернативними інтерпретаціями та конфліктами цінностей. Відповідно, навчальні активності курсу спрямовані не на передавання знань, а на актуалізацію рефлексивного мислення та аргументованого професійного судження.

Ключовим елементом дидактичного дизайну курсу є використання сценарного підходу, який дозволяє моделювати типові та граничні ситуації професійної діяльності в наноматеріалознавстві. Сценарні завдання сконструйовані таким чином, щоб відображати реальні дилеми сучасної науки й інженерії: неповноту даних, суперечливість інтересів, відкладені наслідки та обмеженість контролю з боку дослідника.

Принциповою характеристикою сценарних завдань є відсутність єдино правильної відповіді. Натомість вони передбачають множинність потенційно прийнятних стратегій дій, кожна з яких має власні переваги, ризики та етичні обмеження. Такий підхід створює умови для переходу від формального оцінювання рішень до аналізу логіки міркування, що є важливим для формування етичної відповідальності у структурі готовності до професійної діяльності.

У курсі використовуються різні типи сценарних завдань, які відповідають специфіці окремих модулів і освітніх цілей. До них належать: аналітичні сценарії, спрямовані на виявлення потенційних ризиків, зацікавлених сторін і можливих наслідків технологічного рішення; етичні дилеми, у яких здобувачі змушені балансувати між конкуруючими цінностями (наприклад, інноваційністю та принципом обережності); рефлексивні задачі типу «Подумай сам», що стимулюють осмислення власної професійної позиції та меж відповідальності; порівняльні сценарії, у межах яких аналізуються альтернативні стратегії дій із фіксацією їхніх сильних і слабких сторін.

Зазначені типи сценаріїв дозволяють поступово ускладнювати навчальні завдання та переходити від первинної ідентифікації етичних аспектів до глибшого аналізу структурних причин і системних наслідків рішень.

Види навчальної діяльності курсу реалізуються у різних форматах, що відповідають його розподіленому характеру та можливості інтеграції у фахові дисципліни. Серед основних форматів використовуються: індивідуальна рефлексивна робота, спрямована на формулювання власної позиції щодо запропонованого сценарію; групове обговорення, у межах якого відбувається

зіставлення різних точок зору та аргументів; моделювання ролей і зацікавлених сторін, що дозволяє усвідомити асиметрію впливів і відповідальності; письмові позиційні нотатки або короткі есе, орієнтовані на структуроване викладення аргументації.

Використання різних форматів роботи сприяє розвитку здатності переходити від інтуїтивних оцінок до усвідомленого, аргументованого міркування, що є суттєвим показником сформованості етичної відповідальності.

Центральним дидактичним принципом курсу є рефлексивність. Усі навчальні завдання побудовані таким чином, щоб спонукати здобувачів до осмислення не лише обраного рішення, а й логіки, що лежить в його основі. Особлива увага приділяється здатності: ідентифікувати власні припущення та ціннісні установки; усвідомлювати межі наявного знання; визнавати наявність альтернативних інтерпретацій; аргументувати позицію з урахуванням ризиків і невизначеностей.

Оцінюється не результат у вигляді конкретної відповіді, а якість міркування, послідовність аргументації та здатність до рефлексії, що узгоджується з цілями формування етичної відповідальності у структурі готовності до професійної діяльності.

Дидактичний дизайн курсу узгоджений із загальною логікою дисертаційного дослідження та сценарного оцінювання. Початковий і підсумковий сценарні зрізи використовують аналогічні принципи побудови завдань і форматів обговорення, що дозволяє зіставляти зміни у способі міркування здобувачів та фіксувати динаміку розвитку етичної відповідальності як системоутворювального чинника готовності до професійної діяльності.

Навчально-методичне забезпечення курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» розроблено з урахуванням його розподіленого формату реалізації та спрямованості на формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Комплект

матеріалів не передбачає лінійного проходження курсу або жорстко фіксованої траєкторії навчання, а функціонує як гнучка методична система, придатна як для керованого використання викладачами, так і для самостійного опрацювання здобувачами.

Методичні матеріали курсу спроєктовані відповідно до кількох принципових положень. По-перше, кожен елемент має бути функціонально самодостатнім, тобто таким, що може бути використаний автономно, без обов'язкового залучення інших компонентів курсу. По-друге, матеріали орієнтовані не на передавання інформації, а на підтримку рефлексивного міркування та усвідомлення етичних наслідків професійних рішень. По-третє, забезпечено можливість їх використання у різних освітніх контекстах – від аудиторних занять до самостійної роботи або змішаних форматів навчання.

Окремою методичною вимогою є двомовність допоміжних матеріалів (українською та англійською мовами), що розширює можливості інтеграції курсу у міжнародні освітні середовища, а також сприяє формуванню здатності працювати з етичною проблематикою у глобальному науковому контексті.

До навчально-методичного забезпечення курсу входять такі основні групи матеріалів: лекції, що містять практичні приклади та реальні приклади етичноскладних рішень; презентаційні матеріали до кожного модуля (українською та англійською мовами); відеоматеріали пояснювального та проблемно-орієнтованого характеру (двомовні); інфографіки, що візуалізують складні етичні зв'язки та процеси; ментальні карти, які відображають логіку аналізу етичних ситуацій; чек-листи та гайди для рефлексивного аналізу рішень; таблиці порівняльного аналізу стратегій і можливих наслідків. Кожна з цих груп матеріалів пов'язана з конкретними модулями курсу, але не обмежується виключно ними, що дозволяє використовувати їх міжмодульно та міждисциплінарно.

Презентаційні матеріали до кожного модуля виконують функцію концептуального орієнтира. Вони не перевантажені фактичним матеріалом і не дублюють текстові джерела, а зосереджені на ключових ідеях, проблемних

вузлах та запитаннях, що потребують етичного осмислення. Презентації можуть використовуватися як вступ до обговорення, як супровід сценарного завдання або як самостійний матеріал для індивідуального опрацювання.

Відеоматеріали доповнюють презентації та орієнтовані на пояснення складних концептів, типових помилок у міркуваннях або поширених редукцій етичних проблем до формального дотримання норм. Їх використання особливо доцільне в умовах самостійного навчання, коли відео виконує роль «методичного посередника» між матеріалом і здобувачем.

Інфографіки та ментальні карти призначені для візуалізації процесу етичного аналізу. Вони дозволяють наочно представити взаємозв'язки між технологічним рішенням, зацікавленими сторонами, можливими ризиками та відкладеними наслідками. Такі матеріали особливо ефективні під час групових обговорень або у випадках, коли необхідно структурувати складну дискусію без спрощення її змісту.

Ментальні карти також можуть використовуватися здобувачами як інструмент самостійної роботи – для фіксації власної логіки міркування та виявлення «сліпих зон» у аналізі ситуації.

Центральне місце у навчально-методичному забезпеченні курсу посідають чек-листи та гайди, які виконують функцію інструментів рефлексивної підтримки. Вони не містять нормативних відповідей або готових рішень, а пропонують систему запитань і орієнтирів для аналізу етичних аспектів професійних ситуацій.

До таких інструментів належать, зокрема: чек-листи для ідентифікації екологічних ризиків і невизначеностей; гайди для аналізу відкритості даних і меж відповідального розкриття інформації; інструменти виявлення потенціалу подвійного використання; матриці зацікавлених сторін, включно з «невидимими» або відсутніми групами. Використання чек-листів і гайдів сприяє переходу від інтуїтивних оцінок до структурованого міркування, не підміняючи при цьому етичний вибір формальними процедурами.

Навчально-методичні матеріали курсу можуть застосовуватися у двох основних режимах. Перший режим передбачає кероване використання викладачем у межах конкретної дисципліни, коли окремі елементи курсу інтегруються в навчальний процес залежно від теми та педагогічного задуму. Другий режим орієнтований на самостійне опрацювання здобувачами, зокрема між обов'язковими сценарними зрізами, що дозволяє підтримувати безперервність ціннісної рефлексії. Такий підхід забезпечує методичну гнучкість курсу та його адаптивність до різних освітніх умов, не порушуючи при цьому цілісності дослідницького дизайну.

Оцінювання в курсі «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» принципово не побудоване за логікою контролю знань або перевірки засвоєння нормативних положень. Воно спрямоване на фіксацію динаміки формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, що узгоджується із загальним дизайном дисертаційного дослідження.

Курс не передбачає тестів, іспитів чи заліків у традиційному розумінні. Єдиними обов'язковими елементами є два сценарні зрізи: початковий і підсумковий, які реалізуються у форматі сценарного опитування з подальшим усним обговоренням. Ці зрізи забезпечують порівнюваність результатів та дозволяють простежити зміну способів етичного міркування без редукції їх до «правильних» або «неправильних» відповідей.

Усі інші елементи курсу не підлягають формальному оцінюванню і використовуються як інструменти підтримки рефлексії. Рішення щодо моменту, обсягу та способу їх інтеграції у фахові дисципліни залишаються на розсуд викладачів, що забезпечує педагогічну гнучкість і високу екологічну валідність навчального процесу.

Таким чином, оцінювання в курсі виконує діагностичну та аналітичну функцію, а не контрольну, і є методично узгодженим із сценарним підходом та моделлю готовності, покладеною в основу дисертаційного дослідження.

2.2. Сценарне навчання майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства та його попередня апробація

Формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства ґрунтується на поєднанні кількох взаємопов'язаних методологічних підходів, кожен з яких розкриває окремий аспект цього процесу. Сценарний підхід у сучасній науці й освіті розглядається як методологія роботи зі складними, невизначеними та варіативними ситуаціями, у межах яких лінійне прогнозування або відтворення готових відповідей виявляється недостатнім (Suchikova et al., 2025). У широкому значенні сценарій постає не як спроба точно передбачити майбутнє, а як логічно зв'язана модель можливої ситуації, що дає змогу осмислити альтернативи, виявити приховані припущення, зіставити потенційні наслідки та підготуватися до прийняття рішень в умовах невизначеності. Саме тому сценарний підхід набув поширення спочатку у стратегічному аналізі й плануванні, а згодом – у політиці, дослідженнях сталого розвитку, професійній освіті та оцінюванні.

У педагогічному контексті сценарний підхід трансформувався у сценарне навчання (scenario-based learning) та сценарне оцінювання (scenario-based assessment) і став засобом переходу від абстрактного засвоєння знань до контекстуального мислення, професійного судження, аргументації та прийняття рішень у реалістичних ситуаціях. Його дидактична цінність полягає в тому, що здобувач працює не лише з теоретичним матеріалом, а з правдоподібною професійною ситуацією, у якій необхідно розпізнати проблему, інтерпретувати умови, зважити альтернативи та обґрунтувати вибір. Саме тому сценарний підхід особливо активно застосовується в тих галузях підготовки, де важливими є професійне судження, відповідальність, рефлексія та здатність діяти в умовах неоднозначності.

Для нашого дослідження сценарне навчання є принципово важливим, оскільки формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства не може бути зведене до засвоєння

нормативних положень або відтворення наперед заданих морально “правильних” відповідей. Натомість воно потребує роботи з професійними ситуаціями, у яких поєднуються наукова невизначеність, ризики, конфлікти інтересів, множинність можливих наслідків і необхідність аргументованого вибору. У цьому сенсі сценарне навчання дає змогу не лише актуалізувати етичні дилеми, а й створити умови для розвитку етичного міркування, рефлексії, чутливості до наслідків рішень та усвідомлення меж професійної відповідальності.

Важливим етапом дисертаційного дослідження стала попередня апробація сценарного підходу до актуалізації та аналізу готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Зазначена апробація виконувала функцію пілотного дослідження, спрямованого не на отримання узагальнених емпіричних висновків, а на перевірку концептуальної та методичної доцільності обраного підходу (Bohdanov at al., 2023; Сичікова та ін., 2023 a, b; Ковачов та ін., 2023 a, b; Попова та ін., 2023).

Метою цього етапу було з’ясувати, чи дозволяє сценарний формат – за умови відмови від формалізованого тестового контролю – виявляти та фіксувати зміни в логіці етичного міркування здобувачів, що розглядається в дослідженні як прояв етичної відповідальності у структурі готовності до професійної діяльності майбутнього фахівця. Таким чином, у центрі уваги перебували не знання нормативних етичних положень, а спосіб аргументації, чутливість до наслідків рішень і здатність працювати з невизначеністю.

Попередня апробація була концептуально вмотивована сучасними підходами до етики науки і технологій, зокрема роботами, у яких етика розглядається як процес рефлексивного міркування в умовах складності та невизначеності, а не як система зовнішніх обмежень або правил. У цьому сенсі дослідження спиралося на ідеї відповідальних досліджень та інновацій, сценарного навчання, а також на критичні підходи до формалізованого оцінювання етичних компетентностей, представлені у працях з етики високих

технологій і професійної освіти (Mytsyk & Suchikova, 2025; Suchikova, 2025; Suchikova & Nazarovets, 2025; Suchikova et al., 2025; Fores, 1982; Burdett, 2020; Wienroth, 2015; Børsen, 2025; Brosnan, 2002; Ball, 2002; Eddy et al., 2024; Carter, 2008; Nordmann; 2007; Suchikova, 2025; Grunwald, 2007; Roache, 2008; Spinney, 2012; Wiek et al., 2016; Hunt et al., 2022; Roduit et al., 2015; Giubilini & Sanyal, 2015; Hofmann, 2017; Persson & Savulescu 2008; Allhoff et al., 2010; Fischer, 2021; Frame & Brown, 2008; Funtowicz & Ravetz, 2001).

З методологічної точки зору апробація мала експлоративний характер. Вона не ставила за мету статистичне підтвердження ефективності втручання, а була спрямована на: перевірку валідності сценарних завдань як інструменту виявлення етичної відповідальності; аналіз реакцій здобувачів на ситуації без однозначно правильного рішення; виявлення сильних і слабких сторін поєднання індивідуального сценарного опитування з груповим усним обговоренням.

Саме тому результати цього етапу інтерпретувалися обережно й контекстно, з усвідомленням його обмежень, але водночас стали підґрунтям для подальшого уточнення як інструментарію, так і загальної логіки формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства в межах основного дослідження. Досягнення поставленої мети передбачало розв’язання таких завдань: 1) апробувати сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання готовності до професійної діяльності на вибірці здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти; 2) перевірити логіку диференціації рівнів сформованості готовності до професійної діяльності (початковий, середній, просунутий) на основі відповідей на професійно орієнтовані етичні сценарії; 3) проаналізувати вплив фасилітованого групового обговорення на зміну аргументації та характер етичних рішень здобувачів; 4) виявити методичні обмеження та потенційні ризики використання сценарно-орієнтованого підходу в умовах малих вибірок; 5) уточнити параметри та дизайн основного педагогічного

експерименту, зокрема структуру інструментарію, процедуру оцінювання та принципи інтерпретації результатів.

Таким чином, пілотне дослідження виконувало діагностико-рефлексивну та методично-підготовчу функцію, забезпечуючи науково обґрунтований перехід до основного етапу експериментального дослідження.

Дослідження проводилося протягом жовтня та листопада 2022 року. Бердянський державний педагогічний університет спочатку був розташований у місті Бердянськ. З початком масштабної російсько-української війни у 2022 році Бердянськ був окупований. У зв'язку з цим університет було переведено до Запоріжжя (Цибуляк та ін., 2023). Зараз університет працює у форматі «Університет без стін» (Suchikova & Tsybuliak, 2023; Lopatina et al., 2023; Bohdanov et al., 2023). Усі заняття проводяться онлайн за допомогою відеоконференцзв'язку (Попова та ін., 2023).

Дослідження проводили з десятьма студентами магістратури, що навчалися за освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика та наноматеріали». Методологія включала три основні компоненти: тестування на основі сценаріїв, групове обговорення та повторне тестування оцінки етичної відповідальності. До участі в цьому дослідженні студенти не проходили жодних спеціалізованих курсів, модулів або тренінгів, пов'язаних з етикою в нанонауці. Етичні питання були представлені через сценарні тести та групові дискусії в рамках цього дослідження. Відсутність попередньої підготовки з питань етики дозволяє оцінити базовий рівень етичної відповідальності здобувачів освіти, забезпечуючи основу для оцінки ефективності методів дослідження, таких як групове обговорення та повторна оцінка етичної відповідальності.

У цьому дослідженні використовувався структурований трифазний дизайн дослідження для оцінки розвитку етичної відповідальності серед здобувачів освіти у сфері нанонауки. Процес дослідження складався з трьох етапів: (1) початкова оцінка етичної відповідальності, (2) групове обговорення після оцінювання та (3) повторна оцінка етичної відповідальності (Рис. 2.3).

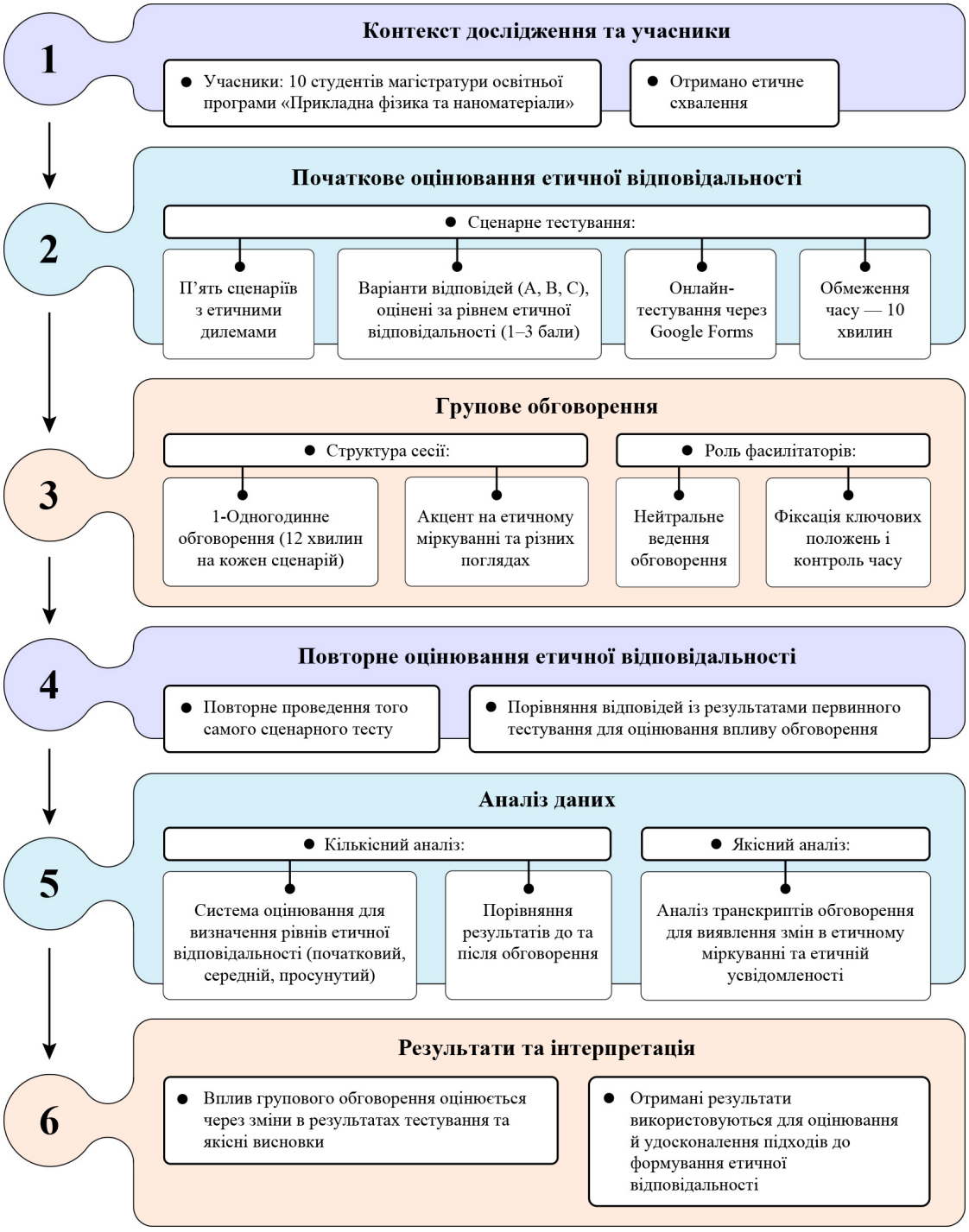

Рис. 2.3. Процес дослідження для оцінки формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Мета полягала в тому, щоб дослідити, чи може спільна рефлексія на основі сценарію вплинути на етичне міркування та прийняття рішень. У підрозділах нижче детально описано кожен етап.

Дослідження розпочалося з початкової оцінки етичної відповідальності, яка складалася з п’яти сценаріїв, пов’язаних з етичною відповідальністю в нанонауці. Кожен сценарій представляв реалістичний етичний виклик, з яким нановчені могли зіткнутися у своїй професійній діяльності, включаючи конфіденційність, несподівані результати досліджень, цілісність експертної оцінки, поводження з небезпечними матеріалами та збереження чесності у спільній роботі.

Для кожного сценарію учасникам було запропоновано три варіанти відповіді (A, B, C), кожен з яких відповідав різному рівню етичної відповідальності – початковому, середньому або просунутому. Структуру з трьох варіантів було навмисно обрано, щоб запропонувати учасникам реалістичний, але керований діапазон вибору, полегшуючи інтуїтивні етичні судження, не надто ускладнюючи процес прийняття рішень.

Оцінювання проведено онлайн за допомогою Google Forms. Учасникам було надано 10 хвилин на проходження тесту, що дало достатньо часу для вдумливого читання та відповіді, одночасно фіксуючи їх безпосередні етичні інтуїції. Важливо, що після надсилання не було надано зворотного зв’язку чи вказівок на правильні відповіді, щоб зберегти цілісність етапу повторного тестування.

Після первинного оцінювання готовності до професійної діяльності на засадах етичної відповідальності здобувачі освіти взяли участь у одногодинній груповій дискусії, спрямованій на поглиблення свого розуміння етичних питань, представлених у сценаріях. Під час цієї сесії кожен із п’яти сценаріїв обговорювався послідовно, причому на кожен випадок відводилося приблизно 12 хвилин, щоб забезпечити цілеспрямоване та динамічне залучення.

Обговорення велося двома фасилітаторами з досвідом етики та нанонаук. Один фасилітатор керував бесідою, ставлячи відкриті запитання, щоб стимулювати роздуми, не висловлюючи особистих думок чи навідних коментарів. Другий фасилітатор керував хронометражем, записував

обговорення та документував ключові моменти, щоб забезпечити вичерпний звіт про етичні міркування групи.

Обидва фасилітатори пройшли попереднє навчання нейтральним методам фасилітації, включаючи стратегії заохочення збалансованої участі та уникнення впливу на відповіді учасників. Вони також готувалися, розглядаючи кожен сценарій заздалегідь, передбачаючи шляхи обговорення та формулюючи підказки, щоб спровокувати критичне мислення.

Щоб зберегти автентичність точок зору здобувачів освіти, фасилітатори звели до мінімуму використання невербальних сигналів і утрималися від пропонування оціночних відгуків. Цей структурований, але відкритий підхід створив середовище, в якому учасники могли вільно формулювати та уточнювати свої етичні позиції через діалог з однолітками.

Наприкінці групової дискусії учасники завершили повторну оцінку етичної відповідальності, яка складалася з тих самих п’яти сценаріїв, представлених у початковій оцінці. Повторне тестування було проведено з використанням того самого формату та розподіленого часу (10 хвилин), і студенти не мали доступу до своїх початкових відповідей.

Цей етап мав на меті зафіксувати будь-які зміни в етичних міркуваннях студентів, які могли виникнути в результаті обговорення одноліткі. Порівнюючи відповіді на початковій та повторній фазах дослідження, дослідження оцінило вплив рефлексивного діалогу на розвиток готовності до професійної діяльності. Послідовна структура обох оцінок забезпечила те, що будь-які відмінності в результатах можна було б пояснити впливом обговорення, а не змінами формату чи контексту.

Етичні сценарії, які використовувалися як у початковій, так і в повторній оцінці етичної відповідальності, були ретельно розроблені, щоб відобразити види дилем, з якими професіонали в галузі нанонауки можуть реально стикатися у своїй роботі.

Сценарії були зосереджені на загальних етичних питаннях нанонауки, таких як конфіденційність у дослідженнях, звітування про несподівані

відкриття, процеси перевірки, поводження з наноматеріалами та чесність у співпраці (Табл. 2.1). Кожному варіанту відповіді (A, B, C) у сценаріях було присвоєно бал (1, 2 і 3 відповідно).

Таблиця 2.1

Пропоновані сценарії оцінки формування етичної відповідальності

Питання	Варіанти відповідей	Бал за відповідь
Сценарій 1: Конфіденційність дослідження		
Ви працюєте над інноваційним проектом із значним комерційним потенціалом. Лідер вашої групи наголошує на важливості збереження конфіденційності деталей дослідження. Пізніше на конференції дослідник з іншої установи запитує про ваші методи	B: Ви надаєте загальну інформацію, не розголошуючи жодних конфіденційних деталей.	2
	Б: Ввічливо відмовитися від обговорення проекту, посилаючись на конфіденційність.	3
	C: Поділіться деталями, щоб оцінити, чи може інший дослідник надати цінну інформацію.	1
Сценарій 2: Повідомлення про несподівані знахідки		
Під час дослідження ви виявили, що певний наноматеріал, який ви розробляєте, може становити потенційну небезпеку для здоров'я. Це відкриття виходить за рамки вашого дослідження.	A: Задокументуйте результати внутрішньо, але зосередьтеся на основних цілях дослідження.	2
	B: Повідомте та висвітліть ці висновки своєму керівнику та запропонуйте подальше дослідження.	3
	C: Ігноруйте ці висновки, оскільки вони відхиляються від цілей дослідження.	1
Сценарій 3: Процес перевірки		
Ви переглядаєте статтю для відомого журналу	A: Напишіть об'єктивний огляд, вказавши на сумнівні висновки, не	3

та помічаєте, що дослідження дуже нагадує роботу вашої команди, але з деякими сумнівними висновками	розголошуючи аналогічну роботу вашої команди.	
	B: Рекомендувати відхилити через сумнівні висновки та схожість із вашою роботою.	2
	C: Обговоріть статтю зі своєю командою, щоб визначитися з відгуками.	1
Сценарій 4: Поводження з наноматеріалами		
Ви помітили, що молодший науковий співробітник у вашій команді не дотримується стандартних протоколів безпеки під час роботи з потенційно небезпечними наноматеріалами.	B: Негайно виправте дослідника та повідомте про інцидент керівнику лабораторії.	3
	B: Попередьте дослідника та проведіть додатковий інструктаж з безпеки.	2
	C: Тихо спостерігайте за діями дослідника, щоб побачити, чи це повториться, перш ніж вживати будь-яких дій.	1
Сценарій 5: Чесність у співпраці		
Ваша співпраця з іншою установою обіцяє значний успіх. Однак ви виявляєте, що їхня дослідницька практика не відповідає етичним стандартам, що потенційно може поставити під загрозу цілісність проєкту.	A: Продовжуйте співпрацю, визначаючи пріоритет потенційних результатів проекту.	1
	B: Намагайтеся вирішити ваші проблеми зі співавторами та намагайтеся застосовувати етичні практики	3
	C: Залиште співпрацю, щоб зберегти свої етичні стандарти.	2

Варіанти відповідей у таблиці 1 навмисно не були розташовані в певному порядку, щоб уникнути потенційної упередженості. Цей

рандомізований підхід гарантував, що на учасників не впливав певний порядок, дозволяючи їм розглядати кожен варіант відповіді окремо.

Кожен сценарій був розроблений таким чином, щоб відобразити реальні етичні проблеми, з якими можуть зіткнутися професіонали в галузі нанонауки. Сценарії охоплювали такі питання, як конфіденційність досліджень, звітування про несподівані відкриття, процеси перевірки, поводження з наноматеріалами та чесність у співпраці, представляючи різноманіття та складність етичних дилем у цій галузі. Мета кожного сценарію полягала в тому, щоб стимулювати глибокі етичні роздуми та критичне мислення, допомагаючи студентам уявити ситуації, з якими вони можуть зіткнутися у своїй професійній практиці.

Сценарії були розроблені таким чином, щоб бути стислими, але достатньо детальними, щоб забезпечити достатній контекст для розуміння етичної дилеми, не перевантажуючи учасників надмірною інформацією. Такий підхід гарантував, що студенти могли зосередитися на основній етичній проблемі, зберігаючи при цьому залученість і роблячи швидкі, інтуїтивно зрозумілі оцінки. Стиль тексту залишався нейтральним, щоб дозволити учасникам інтерпретувати етичні проблеми незалежно, незалежно від будь-якого впливу на конкретну точку зору.

Сценарії також були написані з урахуванням можливого емоційного впливу, заохочуючи студентів відчувати почуття відповідальності під час прийняття етичних рішень. Наприклад, сценарій повідомлення про несподівані небезпечні властивості наноматеріалу мав на меті спонукати студентів розглянути суспільні наслідки, якщо такі ризики залишаються незадокументованими. Створення цих емоційних зв’язків допомогло зміцнити цілі навчання, зокрема розвиток етичної відповідальності та критичного підходу до своїх дій у науковій роботі.

Основною метою навчання було дозволити здобувачам освіти визначити, оцінити та сформулювати етичні рішення, які мають практичне значення для їх майбутньої кар’єри. Сценарії спонукали здобувачів освіти не

лише до вибору відповідей, а й до глибшого розуміння потенційних наслідків їхніх дій у професійній сфері. Кожен сценарій був розроблений таким чином, щоб викликати дискусію, спонукати до саморефлексії та культивувати етичну відповідальність, що надзвичайно важливо для сучасних науковців.

Кожен сценарій і відповідні варіанти відповідей були ретельно розроблені та оцінені відповідно до загальноприйнятих етичних стандартів і принципів у рамках наукових досліджень і професійної поведінки. Наприклад, у сценарії, що передбачає конфіденційність дослідження, відповідь з найвищим рейтингом найкраще узгоджується з етичною відповідальністю щодо захисту конфіденційної інформації, як зазвичай вимагається в проектах з комерційними чи конфіденційними аспектами. Цю відповідь було визнано найбільш етичною, оскільки вона відображає усвідомлення зобов'язань щодо конфіденційності та врівноваження професійних очікувань ділитися неконфіденційною інформацією.

Щоб переконатися в достовірності, рейтинги були переглянуті фахівцями з етики та нанонаук, які оцінили доречність і відповідність кожного варіанту відповіді в контексті реальних етичних проблем. Цей процес мав на меті гарантувати, що присвоєні рейтинги точно відображають рівні етичної відповідальності відповідно до професійних норм. Сценарії були створені з урахуванням нюансів у відповідях, визнаючи, що на практиці можуть існувати варіації залежно від контексту. Там, де це було застосовано, сценарії були структуровані таким чином, щоб означати, що конфіденційність стосується в першу чергу критичних деталей дослідження, а не загальної інформації про проєкт, якщо не зазначено інше.

Результати тестування оцінювали в два етапи :

1). Початкова оцінка готовності до професійної діяльності: початкові відповіді на тестування були проаналізовані, щоб оцінити базові навички прийняття здобувачами освіти етичних рішень. Кожну відповідь було класифіковано за початковим, середнім або просунутим рівнями етичного розуміння на основі попередньо визначеного ключа.

2). Оцінка готовності до професійної діяльності при повторному тестуванні: відповіді під час повторного тестування аналогічно аналізували та порівнювали з результатами початкового тестування, щоб визначити будь-які зміни в етичних міркуваннях або зрушення в рівні етичної відповідальності після обговорення.

Групове обговорення було записано на відео та професійно транскрибовано. Стенограми пройшли ретельний перегляд для забезпечення глибокого ознайомлення з даними. Щоб забезпечити якість і точність, кілька авторів незалежно проаналізували дані. Було визначено ключові моменти, аргументи та зміни в перспективах. Обговорення дозволило зрозуміти колективні етичні міркування групи та висвітлило сфери, де етична відповідальність була сильною або потребувала вдосконалення.

Порівняння результатів початкового та повторного тестування мало на меті оцінити вплив групової дискусії на прийняття студентами етичних рішень. Були виявлені та проаналізовані покращення, регресії або узгодженість у виборах, зроблених під час повторного тестування, порівняно з початковим тестуванням, щоб зрозуміти, як обговорення вплинуло або посилило готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Порівняння початкових і повторних результатів було проведено шляхом аналізу змін у загальних балах кожного учасника та відповідей на кожен окремий сценарій. Спочатку було підраховано загальну кількість балів за обидва етапи тестування, щоб визначити рівень етичної відповідальності (початковий, середній або просунутий) до та після групового обговорення. Потім ми порівняли зміни у відповідях на кожен сценарій, що дозволило нам оцінити, як групове обговорення вплинуло на етичні міркування в конкретних дилемах.

Окрім кількісного порівняння балів, був проведений якісний аналіз відповідей, щоб оцінити зміни в міркуваннях учасників між початковою та повторною фазами тестування. Ключові аргументи, які виникли під час

обговорення і які могли вплинути на відповіді учасників повторного тестування, були задокументовані та співвіднесені з їхніми відповідями. Цей підхід виявив покращення, регресії або узгодженість у виборі учасників, забезпечуючи глибше розуміння того, як дискусія вплинула на їхні етичні погляди.

Ця методологія забезпечила комплексний підхід до оцінки рівня етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалів. Він поєднав індивідуальне оцінювання з колективним навчанням, пропонуючи нюансований погляд на розвиток етичної відповідальності серед студентів у критичній науковій галузі.

Тест оцінки етичної відповідальності було кількісно оцінено за допомогою структурованої системи бальних оцінок рівня етичної відповідальності студентів освітньо-професійної програми «Прикладна фізика та наноматеріали». Ця система була розроблена для класифікації відповідей на три рівні етичної відповідальності: початковий , середній , просунутий .

Бали, отримані за кожну відповідь, підсумовувалися для визначення загального бала кожного студента. Діапазон загального бала становив від 5 до 15 балів. Рівні сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства визначали за сумарним балом (Табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Рівні формування етичної відповідальності

Рівень	Загальний бал	Опис
Початковий	5 – 8	Базовий рівень готовності до професійної діяльності
Середній	9 – 12	Більш розвинена, але не до кінця вдосконалена готовність до професійної діяльності
Просунутий	13 – 15	Високий рівень сформованості готовності до професійної діяльності

Рішення зменшити рівень вимірювання від безперервних до порядкових даних було прийнято з урахуванням обмеженого розміру вибірки та характеру оцінювання. Зважаючи на рівні етичної відповідальності (початковий, середній і просунутий), порядкова шкала була більш підходящою для значущої категоризації відповідей. Цей підхід дозволив провести більш точний аналіз формування етичної відповідальності, не вимагаючи точності постійного вимірювання, яке, можливо, не було настільки інформативним, враховуючи обмеження вибірки та цілі дослідження.

Порівняння балів до та після обговорення допомогло нам зрозуміти, як групові обговорення можуть вплинути на формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Підвищення результатів тестів після обговорення свідчило про підвищення рівня готовності до професійної діяльності. Навпаки, зменшення чи відсутність змін вказує на сфери, де може знадобитися додаткове етичне навчання.

Це дослідження використовує описову статистику лише для аналізу результатів через малий розмір вибірки (n=10), що не дозволяє робити статистично значущі узагальнення або застосовувати інференційні статистичні тести, такі як t-тест або U-тест Манна-Уітні. Це дослідження мало на меті забезпечити попереднє розуміння рівня етичної відповідальності серед студентів освітньо-професійної програми «Прикладна фізика та наноматеріали» та вивчити вплив групової дискусії на їхні етичні міркування. Хоча результати не можна узагальнити на ширшу сукупність, цей описовий підхід пропонує цінну інформацію, яка може стати основою для майбутніх досліджень з більшими розмірами вибірки.

Дослідження проведено з дотриманням етичних принципів Гельсінської декларації. Участь у дослідженні була цілком добровільною; інформовану згоду від усіх учасників отримано до їх залучення. Програму дослідження розглянуто та схвалено Комітетом з етики досліджень [Аноніма] (протокол № 2-1/2022 від 15.09.2022).

Індивідуальні відповіді під час початкової оцінки етичної відповідальності виявили діапазон рівнів етичної відповідальності (Табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Результати тестування 1 раунду

Респондент	Сценарій 1	Сценарій 2	Сценарій 3	Сценарій 4	Сценарій 5	Загальний бал	Рівень
1	2	2	3	3	1	11	Середній
2	3	3	2	2	3	13	Просунутий
3	1	1	1	1	2	6	Початковий
4	2	3	3	3	1	12	Середній
5	3	2	3	3	3	13	Просунутий
6	2	3	2	3	1	11	Середній
7	3	2	1	2	3	11	Середній
8	1	1	3	1	2	8	Початковий
9	2	2	2	3	1	10	Середній
10	3	3	1	2	3	12	Середній

У Сценарії 1 (Конфіденційність дослідження) відповіді були досить збалансованими, з легким нахилом до більш складного прийняття етичних рішень, що вказує на добре розуміння важливості конфіденційності в дослідженні.

У сценарії 2 (повідомлення про несподівані знахідки) більшість схилялася до етичних міркувань, демонструючи тверде усвідомлення необхідності відповідального повідомлення про несподівані знахідки.

Сценарій 3 (Процес перевірки) виявив суміш відповідей, де кілька студентів продемонстрували високу етичну відповідальність у наданні об’єктивного зворотного зв’язку.

Сценарій 4 (Поводження з наноматеріалами) показав, що багато студентів обрали найбільш етичний варіант, що вказує на високу етичну відповідальність щодо протоколів безпеки.

У сценарії 5 (Чесність у співпраці) відповіді знову були різноманітними, але з помітною тенденцією дотримуватись високих етичних стандартів у спільних дослідженнях.

Загальні бали вказують на наявність у групі відповідей рівня «початківець» і «просунутий», що свідчить про різноманітність етичних компетенцій. У представлених сценаріях здобувачі освіти, які досягли рівня «Просунутий» (2 і 5), продемонстрували глибше розуміння та більш витончений підхід до прийняття етичних рішень. Навпаки, студенти рівня «початковий» (3 і 8) продемонстрували базовий рівень етичної відповідальності, що вказує на необхідність подальшого навчання етики та етичної поведінки.

Підсумовуючи, результати початкової оцінки етичної відповідальності відображають різноманітні етичні обов'язки студентів, припускаючи, що хоча певні аспекти добре сформовані, інші потребують значного вдосконалення. Ця розбіжність підкреслює необхідність більш тонкого та цілеспрямованого підходу до інтеграції етичної підготовки в навчальну програму з прикладної фізики та наноматеріалів.

Обговорення проходило за принципом «крок за кроком», систематично розглядаючи кожен сценарій. Обговорення розпочалося з того, що кожен здобувач освіти поділився своїми початковими думками щодо сценаріїв.

Сценарій 1: Конфіденційність дослідження

У цьому сценарії здобувачі освіти зіткнулися з етичною дилемою щодо конфіденційності дослідницького проєкту зі значним комерційним потенціалом. Їм довелося вибрати між обміном інформацією, дотриманням суворої конфіденційності або частковим розкриттям деталей, щоб оцінити потенційні переваги співпраці.

Один студент, який обрав варіант Б, стверджував: «Ми повинні підтримувати цілісність конфіденційності в дослідженнях. Розголошення будь-якої загальної інформації може поставити під загрозу цілісність проєкту».

Ця точка зору викликала дискусію, оскільки інший студент відповів: «Однак обмін знаннями певною мірою сприяє співпраці та науковому прогресу», подібну думку висловив інший студент, який стверджував: «Обмін знаннями може сприяти науковому прогресу. Ми можемо бути відкритими, не порушуючи ключових конфіденційних деталей». Така точка зору підкреслила важливість співпраці в науці, хоча вона вимагає більш відповідального підходу до інформації. Були також відповіді, які схилялися до поміркованого розголошення інформації («тільки для користі свого проєкту»): «Іноді обмін деякою інформацією може призвести до вигідної співпраці. Йдеться про пошук правильного балансу». Ця перспектива вказувала на прагматичний підхід до конфіденційності дослідження.

Загалом тенденція, яка спостерігалася під час дискусії, вказувала на збалансований поділ серед здобувачів освіти. Ті, хто виступає за сувору конфіденційність (варіант B), загалом продемонстрували більш обережний підхід, наголошуючи на етичній та юридичній відповідальності, притаманній дослідницькій роботі. Навпаки, студенти, схильні ділитися інформацією (варіанти A і C), відображали більш відкриту та співпрацюючу позицію, хоча вони визнавали необхідність збалансувати цю відкритість з міркуваннями конфіденційності.

Різні відповіді на цей сценарій демонструють, що студенти знають етичні складнощі конфіденційності дослідження. Однак їхні різні погляди також свідчать про те, що є місце для глибшого дослідження та розуміння балансу між етичними зобов'язаннями та потенційними перевагами співпраці. Це вказує на потребу в тому, щоб освітні програми наголошували на прийнятті етичних рішень у контексті конфіденційності досліджень, висвітлюючи як принципи етичної поведінки, так і практичні реалії наукової співпраці.

Деякі відповіді здобувачів освіти ставлять філософські запитання: «Як ми збалансуємо науковий прогрес з етичною відповідальністю?» Також варто відзначити коментар: «Етика – це не лише дотримання правил; це розуміння впливу наших дій».

Сценарій 2: Повідомлення про несподівані знахідки

У цьому сценарії студенти повинні були вирішити, як впоратися з несподіваним відкриттям того, що наноматеріал, який вони розробляють, може становити потенційну небезпеку для здоров'я. Вибір включав зосередження виключно на основних цілях дослідження, звітування та висвітлення цих висновків для подальшого дослідження або повне ігнорування результатів.

Обговорення Сценарію 2 продемонструвало сильну схильність до етичної відповідальності, причому більшість здобувачів освіти вирішили звітувати та висвітлювати результати (Варіант Б). Ця тенденція вказує на високий рівень етичної відповідальності серед студентів, усвідомлюючи важливість урахування потенційних ризиків, навіть якщо вони виходять за межі основних цілей дослідження. Студент, який виступав за цей варіант, стверджував: «Коли наше дослідження несподівано виявляє потенційні ризики, нашим етичним обов'язком стає повідомляти про це. Ігнорування цього може мати серйозні наслідки». Така позиція відображає сильне почуття етичної відповідальності за ширший вплив на суспільство.

Ті, хто вирішив зосередитися виключно на головних цілях дослідження або проігнорувати результати, показали перевагу ефективності та практичності дослідження над етичними міркуваннями. Хоча ця точка зору була менш поширеною в дискусії, вона підкреслює потенційний конфлікт між етичними обов'язками та цілями досліджень у нанонауці. Один студент зазначив: «Якщо ці висновки не є частиною наших головних цілей, вони можуть відвернути увагу від нашого основного дослідження. Практичніше залишатися зосередженим». Ця перспектива передбачає більш прагматичний, хоча й етично сумнівний підхід.

У той час як більшість студентів продемонстрували гідне схвалення розуміння етичної відповідальності в дослідженні, різні думки підкреслюють необхідність більш комплексної підготовки, яка наголошує на етичних наслідках результатів дослідження, незалежно від їх узгодження з провідними

цілями дослідження. Підвищення здатності студентів збалансувати практичні дослідницькі цілі з етичними міркуваннями має вирішальне значення для підготовки їх до відповідальної професійної практики в наноматеріалознавстві.

Сценарій 3: Процес перевірки

Сценарій 3 представив етичну дилему в процесі рецензування, коли студенти мали вирішити, як поводитися з рукописом, який дуже нагадував роботу їх команди, але мав деякі сумнівні висновки.

Групове обговорення Сценарію 3 виявило перевагу збереження об'єктивності під час експертної оцінки, причому більшість виступає за неупереджену оцінку (Варіант А). Студенти, які обирали цей варіант, наголошували на важливості етичних стандартів у наукових публікаціях, незалежно від особистої чи командної участі. Студент, який підтримує цей варіант, заявив: «Чесність під час рецензування має вирішальне значення. Ми повинні надати неупереджену рецензію виключно на основі змісту рукопису». Ця точка зору цінує цілісність і об'єктивність процесу перевірки, навіть коли ми стикаємося з потенційним конфліктом інтересів.

Інший студент заперечив: «Якщо результати сумнівні та надто схожі на нашу роботу, це може бути плагіатом або відсутністю оригінальності. Ми повинні підтримувати стандарти дослідження». Ця перспектива відображає турботу про наукову строгість та оригінальність дослідницьких публікацій.

Один студент запропонував компроміс: «Обговорення з командою може забезпечити більш повну перспективу та допомогти прийняти справедливе рішення». Цей вибір вказує на перевагу командних обговорень у етично неоднозначних ситуаціях, схильність до колективного прийняття рішень і цінування колективного внеску над індивідуальним судженням.

Результати обговорення свідчать про сильне розуміння студентами етичних складнощів у процесі рецензування. Більшість схилялася до підтримки об'єктивності та чесності, демонструючи усвідомлення етичної відповідальності, притаманної науковій рецензії. Однак різноманітні відповіді

також підкреслюють необхідність більш цілеспрямованих дискусій і тренінгів щодо вирішення конфліктів інтересів і етичних дилем у наукових публікаціях. Підвищення навичок студентів у прийнятті етичних рішень у контексті експертної оцінки є життєво важливим, оскільки такі ситуації трапляються щодня в академічній та дослідницькій кар'єрі.

Сценарій 4: Поводження з наноматеріалами

У сценарії 4 студентам була представлена етична ситуація, пов'язана з тим, що молодший науковий співробітник не дотримується стандартних протоколів безпеки під час роботи з потенційно небезпечними наноматеріалами. Варіанти варіювалися від негайного виправлення та звітування, попередження та додаткового навчання безпеки до спостереження за поведінкою перед тим, як вживати будь-яких дій.

Більшість студентів під час обговорення вибрали негайне виправлення та звітування, що свідчить про сильну схильність до дотримання стандартів безпеки та етичної поведінки в лабораторії. Цей вибір відображає розуміння критичної природи протоколів безпеки в нанонауці, де неправильне поводження з матеріалами може мати серйозні наслідки. Один із студентів зазначив: «Негайне виправлення та звітування мають вирішальне значення для безпеки. Це аспект етичної поведінки в лабораторії, який не підлягає обговоренню». Інший студент погодився та наголосив: «Лабораторна безпека не підлягає обговоренню. Негайні дії не лише виправляють поведінку, але й створюють прецедент для інших». Ця відповідь підкреслює важливість швидкого реагування на порушення техніки безпеки, висвітлюючи проактивний підхід до лабораторної безпеки та етичної відповідальності.

Були висловлені альтернативні думки: «Хоча негайні дії важливі, освіта та перепідготовка можуть бути більш ефективними в довгостроковій перспективі. Йдеться про створення культури безпеки». Ця точка зору свідчить про перевагу виправного виховання над каральними заходами.

Студенти, які віддали перевагу попередженню та додатковому навчанню, продемонстрували віру в освіту та коригувальні дії як практичні

інструменти для забезпечення довгострокового дотримання стандартів безпеки. Меншість, яка обрала спостереження, підкреслила важливість розуміння моделей поведінки перед втручанням, пропонуючи більш аналітичний підхід до вирішення проблем. Один студент зауважив: «Іноді краще зрозуміти закономірність, перш ніж робити поспішні висновки. Це допомагає усунути першопричину». Ця відповідь свідчить про більш обережний і дослідницький підхід до розгляду порушень безпеки.

Результати обговорення Сценарію 4 вказують на загальний високий рівень етичної відповідальності студентів щодо важливості протоколів безпеки в наноматеріалознавстві. Переважний вибір негайних дій свідчить про гідну похвали відданість безпеці та етичну відповідальність. Однак різноманітність відповідей також вказує на необхідність подальшого обговорення та навчання щодо поводження з порушеннями техніки безпеки в дослідницьких умовах. Висвітлення збалансованого підходу, який поєднує негайні дії з освітою та розумінням, може підвищити культуру безпеки та етичної поведінки в середовищі наукових досліджень.

Сценарій 5: Чесність у співпраці

У п’ятому сценарії студенти зіткнулися з етичною дилемою, пов’язаною зі співпрацею з іншою установою, яка обіцяла значні прориви, але чия дослідницька практика не була етично виправданою. Представлені варіанти полягали в тому, щоб продовжити співпрацю, розглянути та вирішити етичні проблеми або вийти зі співпраці для дотримання етичних стандартів. Цей сценарій викликав найбільше дискусій. Дискусія виявила нюанси розуміння збереження чесності в науковій співпраці. Більшість студентів схилялися до активного розгляду та вирішення етичних проблем (Варіант Б), вказуючи на те, що вони віддають перевагу залученості та етичному вирішенню проблем у спільних дослідженнях. Студент, який обрав варіант В, зауважив: «Співпраця важлива, але не за рахунок дотримання етичних стандартів. Ми повинні прагнути узгодити практику». Студенти, які виступали за продовження співпраці, незважаючи на етичні проблеми, продемонстрували прагматичний

підхід, хоча це було менш поширеним серед відповідей. Студент, який обрав цей варіант, сказав: «Потенційні наукові переваги цієї співпраці можуть переважити етичні проблеми. Йдеться про ширшу картину наукового прогресу». Ця точка зору оцінює результати дослідження над процесом. Навпаки, ті, хто вирішив вийти зі співпраці (варіант С), наголошували на пріоритеті етичних стандартів у наукових починаннях: «Компроміс із нашими етичними стандартами, незалежно від потенційної наукової вигоди, створює небезпечний прецедент. Краще відмовитися». Ця відповідь підкреслює тверде дотримання етичних принципів, навіть ціною наукового прогресу.

Результати обговорення сценарію 5 показують, що, хоча студенти визнають важливість співпраці для просування наукових досліджень, вони також розуміють необхідність збалансувати це з етичними міркуваннями. Думка більшості, яка підтримує вирішення етичних питань, свідчить про бажання лідирувати в забезпеченні дотримання етичних стандартів у спільній роботі. Однак різноманітність відповідей також підкреслює необхідність глибшого обговорення прийняття етичних рішень у контексті спільних досліджень. Це допомогло б студентам орієнтуватися в тонкому балансі між науковою співпрацею та дотриманням етичної чесності.

Групове обговорення показало багатообіцяюче залучення студентів до етичних питань, але висвітлило сфери, які потребують подальшого розвитку. Було наголошено на важливості включення надійної етичної підготовки в нанонаукову освіту, яка виходить за рамки теоретичних знань і включає практичне навчання на основі сценаріїв. Такий підхід краще підготує студентів до вирішення етичних проблем, з якими вони зіткнуться у своїй професійній кар’єрі, гарантуючи, що вони внесуть свій внесок у сферу нанонауки у відповідальний та етично обґрунтований спосіб.

Після групових обговорень результати повторного тестування рівня сформованості готовності до професійної діяльності показують помітне покращення серед більшості студентів. Більшість студентів було віднесено до

категорії «Просунутий», що вказує на глибше розуміння та більш витончений підхід до прийняття етичних рішень (Табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Результати 2-го туру тестування

Респондент	Сценарій 1	Сценарій 2	Сценарій 3	Сценарій 4	Сценарій 5	Загальний бал	Рівень
1	3	3	3	3	3	15	Просунутий
2	2	3	3	3	2	13	Просунутий
3	2	2	2	2	2	10	Середній
4	3	3	2	3	3	14	Просунутий
5	3	3	3	3	3	15	Просунутий
6	3	3	3	3	3	15	Просунутий
7	2	3	3	3	3	14	Просунутий
8	2	2	2	2	2	10	Середній
9	3	3	3	3	3	15	Просунутий
10	3	2	3	3	3	14	Просунутий

Результати тесту після обговорення підкреслюють ефективність групових обговорень у покращенні навичок етичної аргументації. Значна присутність відповідей рівня «Просунутий» після обговорень свідчить про те, що інтерактивний та рефлексивний досвід навчання є вирішальним у розвитку етичного розуміння в нанонауці. Ці висновки підкреслюють важливість включення педагогічних методів, заснованих на співпраці та обговоренні, в етичну освіту для студентів нанонаук.

Групові дискусії, ймовірно, стимулювали глибше критичне мислення щодо представлених етичних дилем. Ознайомлення з різними точками зору та участь у дебатах може розширити кругозір студентів, дозволяючи їм враховувати більш складні фактори під час прийняття рішень.

Взаємодія з однолітками під час обговорень могла надати студентам нові ідеї чи міркування, про які вони не думали, що призвело до більш тонких етичних суджень під час повторного тестування.

Детальне обговорення кожного сценарію дозволило студентам поміркувати над своїми початковими відповідями та переглянути свій вибір, що потенційно призвело до прийняття більш етично обґрунтованих рішень.

Підвищення балів після групового обговорення може відображати комбінацію факторів. Хоча ймовірно, що обговорення сприяло глибшому розумінню етики, заохочуючи студентів розглядати різні точки зору, інші елементи також могли сприяти цьому. Наприклад, повторення запитань під час оцінювання після обговорення могло дозволити студентам поміркувати над тим, що обговорювалося, можливо, більш узгодивши свої відповіді з точками зору, які виявилися домінуючими в групі. Це може свідчити про те, що підвищення балів частково відображає вплив групової динаміки, коли студенти колективно опрацьовували етичні концепції, а не індивідуально їх інтерналізували.

У цьому контексті слід визнати, що кількісні результати передусім вказують на зростання залученості студентів до обговорення та уважності до етичної проблематики і не можуть розглядатися як остаточний показник індивідуальної етичної відданості. Саме тому якісний аналіз залишається центральним у цьому дослідженні, оскільки він точніше фіксує нюанси розвитку етичного міркування, зміни в аргументації та трансформацію студентських позицій. Такий підхід узгоджується з метою дослідження – оцінити вплив спільного навчання на розвиток етичної обізнаності, одночасно враховуючи обмеження інтерпретації ізольованих кількісних показників.

Метою цього дослідження було оцінити та підвищити рівень готовності до професійної діяльності здобувачів освіти магістерського рівня спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали» за допомогою двоетапної методології, яка включала початкове тестування, групове обговорення та повторне оцінювання. Отримані результати дають суттєве уявлення про

здатність студентів до етичних міркувань та ефективність педагогічних підходів, що ґрунтуються на дискусії, у навчанні етики.

Результати дослідження виявили глибоку зацікавленість студентів в обговоренні етичних аспектів кожного сценарію. Студенти часто спиралися на особистий досвід або теоретичні знання, демонструючи вміння застосовувати набуті знання в реальних життєвих ситуаціях. Питання, поставлені під час обговорень, були дослідницькими, що вказувало на щире бажання зрозуміти складність прийняття етичних рішень у нанонауці. Примітно, що студенти, які обрали більш просунуті етичні варіанти, надали більш детальні обґрунтування, що вказує на вищий рівень етичної зрілості. Ці студенти часто вели дискусії, заохочуючи однолітків враховувати не лише безпосередні наслідки їхніх рішень.

Наші висновки узгоджуються з наявними дослідженнями, які вказують на те, що в традиційній професійній підготовці у природничо-наукових та інженерних галузях етична проблематика часто відокремлюється від фахового й наукового навчання, що призводить до розриву між науковими знаннями студентів і їхнім розумінням ширших суспільних наслідків професійної діяльності (Rolfe, 2014). Спостережене глибоке залучення здобувачів освіти до етичних дискусій, у межах яких вони застосовували особистий досвід і теоретичні знання до аналізу реалістичних сценаріїв, підкреслює важливість інтеграції етичної проблематики у професійну підготовку майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Така інтеграція сприяє формуванню цілісного розуміння науки, технологій та їхнього впливу на суспільство (Hildt et al., 2024; Kreth et al, 2024).

Під час дискусій студенти усвідомили складність прийняття етичних рішень у науковому контексті. Вони ретельно зважували переваги та недоліки різних дій, розглядаючи ширші наслідки свого вибору. Це узгоджується з дослідженнями, які підкреслюють важливість обговорення реальних дилем у розвитку етичної чутливості та критичного мислення в освіті в галузі нанонаук (Tammeleht et al., 2019; Tawiah et al., 2024).

Темою дискусій, що постійно повторювалася, була проблема балансу між науковими цілями та етичними стандартами. Студенти стикалися з рішеннями, які вимагали визначення пріоритетів або цілей дослідження, або етичних міркувань. У літературі підтверджується необхідність етичної освіти, яка б ефективно керувала такими балансами (Thiel et al., 2011; Mnyusiwalla et al., 2003).

Здобувачі освіти виступали за етичне лідерство та конструктивну взаємодію, особливо під час співпраці або коли стикаються з несподіваними результатами досліджень. Це відображає готовність студентів визнавати та активно вирішувати етичні проблеми, узгоджуючи висновки щодо важливості групових обговорень етичних дилем для виховання етичної відповідальності (Balakrishnan & Visvanathan, 2012).

Різноманітні рівні етичної відповідальності та характер дискусій підкреслюють необхідність більш комплексного навчання етики в навчальних програмах. Така підготовка має бути зосереджена на розвитку критичного мислення щодо етичних дилем, розумінні наслідків рішень і вихованні культури етичної відповідальності у професійній практиці. Поліпшення результатів після обговорень підкреслює цінність інтерактивних та рефлексивних методів навчання в освіті етики (Göçen & Bulut , 2024).

Однак відмінності в результатах покращення також вказують на необхідність індивідуальних підходів до навчання етики. Адаптація навчання етиці до потреб кожного студента може бути більш ефективною для підвищення етичних стандартів серед студентів, які вивчають нанонауки. Такий підхід забезпечує адекватне задоволення освітніх потреб кожного студента, сприяючи більш всебічному розвитку етичної відповідальності у майбутніх фахівців у галузі нанонаук.

Незважаючи на те, що багато педагогічних стратегій, розглянутих у цьому дослідженні, узгоджуються із ширшими підходами до етичної освіти у природничо-наукових та інженерних галузях, окремі етичні питання виявилися особливо актуальними саме для нанонауки. Зокрема, сценарії,

пов’язані з конфіденційністю досліджень, відображали високотехнологічний характер розроблення наноматеріалів, що часто супроводжується комерційним застосуванням і захистом конфіденційної інтелектуальної власності. Подібним чином сценарій, пов’язаний із повідомленням про несподівані результати, актуалізував проблему довгострокових ризиків для здоров’я людини та довкілля, характерних для нанорозмірних матеріалів, наслідки використання яких є менш передбачуваними й складнішими для контролю, ніж у випадку традиційних речовин. Обговорення безпечного поводження з наноматеріалами засвідчили обізнаність студентів щодо фізичної та нормативної невизначеності, пов’язаної з новими технологіями. Отримані результати підтверджують, що етична освіта у сфері нанонауки має охоплювати такі питання, як технології подвійного призначення, протоколи безпеки в умовах невизначеності та суспільні наслідки нанорозмірних інновацій – аспекти, які зазвичай меншою мірою представлені в загальних курсах етичної підготовки у природничо-наукових та інженерних галузях (Mnyusiwalla та ін., 2003; Khan, 2014). У змістово насичених освітніх програмах, таких як «Прикладна фізика та наноматеріали», гнучкі навчальні формати, зокрема сценарне обговорення, є практичним способом інтеграції цих етичних аспектів без перевантаження навчального плану.

Після групових обговорень спостереження підвищення балів етичної відповідальності свідчить про те, що групова динаміка значною мірою сформувала етичні судження студентів. Попередні дослідження етичної освіти підкреслюють, що групові дискусії можуть сприяти спільному почуттю етичної відповідальності, оскільки студенти беруть участь у діалозі, який розширює їхнє розуміння етичних дилем (Davis & Feinerman, 2012). Взаємодіючи з однолітками та обмінюючись точками зору, студенти можуть розвинути колективну етичну свідомість, де групові норми та цінності впливають на процеси прийняття рішень.

Крім того, дослідження етичної освіти, такі як Sunderland (2019), показують, що групові дискусії можуть підвищити «етичну чутливість» і

«етичну відданість», сприяючи співпереживанню та глибшому обдумуванню соціальних наслідків наукової роботи. У нашому дослідженні спільна природа групових дискусій, можливо, допомогла студентам засвоїти етичні концепції як частину їхньої ширшої професійної ідентичності в нанонауці, а не просто реагувати на окремі сценарії окремо. Це узгоджується з метою етичної освіти, яка полягає в тому, щоб інтегрувати етичне міркування в професійну ідентичність студентів, заохочуючи їх дотримуватись етичних стандартів протягом усієї своєї кар'єри.

Проте вплив групової динаміки також вносить певні обмеження. Групові дискусії можуть створювати неявний тиск на студентів, щоб вони погоджувалися з точкою зору більшості, потенційно придушуючи унікальні або незгодні точки зору (Kotluk & Tormey , 2022). Хоча це колективне залучення підтримує етичне розуміння, у майбутніх дослідженнях можна було б вивчити методи збалансування групового впливу та індивідуальних рефлексій, гарантуючи, що студенти розвиватимуть незалежні навички етичного міркування разом із спільним досвідом навчання.

Це дослідження оцінює етичну освіту шляхом вивчення розвитку етичної відповідальності серед майбутніх професіоналів у галузі нанонауки через оцінювання на основі сценаріїв та спільні дискусії. Традиційна етична освіта часто намагається подолати розрив між технічними знаннями та етичним міркуванням (Davis & Feinerman, 2012). У нашому дослідженні поєднання тестування сценаріїв і групових обговорень спонукало студентів глибше розглядати етичні дилеми, сприяючи розвитку навичок, які узгоджуються з критичними освітніми цілями з етики, такими як «етична чутливість», «етичні знання», «етичне судження» та «етична відданість» (Davis & Feinerman, 2012).

Групові дискусії в цьому дослідженні стимулювали етичну чутливість, заохочуючи студентів розпізнавати нюанси кожної дилеми та етичні міркування. Цей процес узгоджується зі спостереженням Сандерленда (2019) про те, що залучення студентів може перемістити етику до основного

компоненту технічної освіти, сприяючи усвідомленню впливу на суспільство. Ознайомившись з точкою зору однолітків, студенти розширили свої етичні знання, розширивши своє розуміння потенційних наслідків і суспільної відповідальності в нанонауці. Наші висновки демонструють, що етичні судження студентів розвивалися через обговорення на основі сценаріїв, коли вони оцінювали різні рішення етичних проблем. Цей процес дозволив студентам практикувати етичне судження у спільній обстановці, забезпечуючи основу для прийняття обґрунтованих етичних рішень у своєму професійному житті. Якісний аналіз показав, що студенти часто бажають дотримуватись етичних стандартів поза межами безпосередніх дослідницьких цілей, що вказує на зростаюче почуття етичної прихильності. Ці аспекти підкреслюють ефективність групових обговорень у вихованні етичної відданості, якості, життєво важливої для професіоналів у галузях із значними суспільними наслідками, як-от нанонаука. Хоча кількісні результати дають змогу зрозуміти загальну тенденцію покращення балів, вони служать насамперед показником залученості. Як припустили Kotluk і Tormey (2022), кількісні оцінки можуть не охопити повного обсягу етичного навчання, яке часто передбачає особисті роздуми та вплив однолітків. Таким чином, наше дослідження позиціонує якісне оцінювання як центральний інструмент для оцінювання результатів етичної освіти. Якісний аналіз забезпечує більш детальне розуміння етичних поглядів студентів, що розвиваються, і краще узгоджується з освітніми цілями, щоб сприяти глибокій, довготривалій етичній прихильності.

Результати цього дослідження підкреслюють важливість розробки та удосконалення інструментів оцінювання, які враховують складність етичного навчання. Навчання етиці, особливо в дослідницькій та інженерній сфері, виграє від поєднання методів оцінювання, що відображає індивідуальне розуміння та розвиток під впливом групи (Borenstein et al., 2010). Хоча тести з вибором відповідей зручні, їм бракує глибини, яку забезпечують оцінювання на основі сценаріїв та обговорення. Зміщуючи фокус оцінювання в бік якісних

оцінок, це дослідження сприяє постійному розвитку комплексних підходів до етичної освіти, які підтримують набуття знань, етичну чутливість, судження та відданість.

Результати цього дослідження підкреслюють ефективність діяльності, заснованої на обговоренні, у підвищенні етичної відповідальності серед здобувачів освіти, що вивчають нанонауки, про що свідчить покращення як кількісних балів, так і якісних рефлексій. Ці результати підкріплюють потенційну цінність інтерактивного рефлексивного навчання в рамках етичної освіти. Студенти брали активну участь в дискусіях за сценаріями, стимулюючи етичну чутливість, судження та відданість. Ґрунтуючись на результатах цього дослідження, ми пропонуємо кілька цільових рекомендацій щодо інтеграції освіти з етики в навчальні програми з нанонаук (Табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Цільові рекомендації щодо посилення етичної відповідальності в нанонауковій освіті

Дії, які необхідно вжити	Хто повинен це робити	Опис
Інтеграція навчання на основі сценаріїв	Заклади вищої освіти, розробники навчальних програм	Інтегруйте структуроване навчання на основі сценаріїв у основні курси з нанонауки, щоб сприяти етичній чутливості та ситуаційному судженню. Регулярні, залежно від контексту сценарії допомагають студентам практикувати прийняття етичних рішень у реальних контекстах нанонауки, віддзеркалюючи методи нашого дослідження.
Керовані групові обговорення з акцентом на етику	Інструктори	Впроваджуйте керовані групові дискусії як частину модулів етики, заохочуючи студентів досліджувати різні точки зору та міркувати через етичні дилеми. Наші висновки показали, що групові дискусії покращили етичні роздуми студентів,

		підкресливши переваги структурованих бесід під керівництвом фасилітатора.
Включення етики в дослідницькі проєкти	Наукові керівники	Розвивайте етичну відповідальність, роблячи етичні роздуми формальним компонентом дослідницьких проєктів і дипломної роботи з регулярним відгуком про етичні міркування. Це узгоджується з нашим спостереженням, що рефлексивні вправи в поєднанні з практичною роботою заохочують здобувачів освіти засвоювати етичні принципи.
Безперервний професійний розвиток у сфері етики	Академічні установи, ради з етики	Створіть постійні етичні семінари та практикуми, зосереджені на останніх етичних викликах у нанонауці, щоб студенти були в курсі стандартів, що розвиваються. Регулярне спілкування з етичними темами гарантує, що студенти залишаються на зв'язку з реальними етичними очікуваннями у своїй професійній сфері.
Спільне навчання етики з промисло-вістю	Заклади вищої освіти, промислові партнери	Співпрацюйте з лідерами галузі, щоб моделювати етичні сценарії, з якими студенти можуть зіткнутися у своїй кар'єрі. Наше дослідження підкреслює, як зв'язки в реальному світі роблять етичні дискусії більш впливовими, узгоджуючи їх із практичними очікуваннями галузі.

Важливо зазначити, що хоча всі п'ять рекомендацій узгоджуються з ширшими цілями зміцнення етичної освіти в нанонауці, лише перші дві – інтеграція навчання на основі сценаріїв і керовані групові дискусії – безпосередньо підтверджуються емпіричними висновками цього дослідження.

Висновки цього дослідження підкреслюють, що формування готовності до професійної діяльності на засадах етичної відповідальності повинна виходити за рамки теоретичних знань, щоб активно залучати здобувачів освіти до практичного, дискусійного досвіду, який поглиблює їх етичне розуміння.

Завдяки тестуванню на основі сценаріїв і керованим груповим обговоренням наше дослідження демонструє, що студенти можуть розвинути більш точне усвідомлення етичних проблем, з якими вони можуть зіткнутися як професіонали в нанонауці. Цей підхід надає студентам базовий набір навичок для прийняття етично обґрунтованих рішень у контексті реального світу, сприяючи розвитку наукової точності та етичної чесності (Rasmussen & Ebbesen , 2013).

Міцна етична основа готує майбутніх фахівців до відповідального прийняття рішень, підвищує репутацію галузі та зміцнює довіру суспільства. Інтеграція етики в навчальну програму узгоджується з суспільними очікуваннями щодо відповідального технологічного прогресу та гарантує, що випускники роблять позитивний внесок у галузі, де вплив їхньої роботи виходить далеко за межі лабораторії (Ashraf et al., 2021; Assey & Malasi, 2021; Alfaro Serrano et al, 2024).

Дослідження також підкреслює динамічний характер етичних викликів у нанонауці. У міру розвитку галузі виникатимуть нові етичні дилеми, що підкреслює потребу в освітніх стратегіях, які культивують здатність до адаптації та етичну стійкість. Навчання здобувачів освіти етичному міркуванню через активне навчання гарантує, що вони краще підготовлені до вирішення нових етичних питань, сприяючи сталому та соціально відповідальному розвитку нанотехнологій (Mnyusiwalla та ін., 2003; Khan, 2014).

Результати цього дослідження підкреслюють важливість практичної етичної освіти, орієнтованої на дискусію реагування на розвиток наукової відповідальності в нанонауці. Такий підхід посилить якість і вплив досліджень і підтримуватиме етичні стандарти, необхідні для сталого прогресу в цій галузі.

Це дослідження має кілька обмежень, які слід враховувати. Невеликий розмір вибірки та зосередженість на здобувачів освіти магістерського рівня в одній академічній програмі обмежують можливість узагальнення результатів.

Майбутні дослідження можуть включати більші та більш різноманітні зразки і поздовжній дослідження для оцінки довгострокового впливу дискусійної етики освіти про підвищення кваліфікації студентів.

Дослідження спиралося на описову статистику без тестів висновків, оскільки розмір вибірки не підтримував статистичне узагальнення. Розширення майбутніх досліджень за допомогою більших вибірок уможливить статистичне тестування та більш надійні висновки.

У дослідженні в основному використовувалися оцінювання на основі сценаріїв і групові дискусії без порівняння альтернативних педагогічних методів, таких як рольові ігри або тематичні дослідження. Включення кількох методів і тестування їх ефективності в різних групах студентів забезпечить більш повне розуміння підходів до формування готовності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності.

Нарешті, групові дискусії могли викликати соціальну упередженість, незважаючи на зусилля мінімізувати участь фасилітатора. У майбутніх дослідженнях можна розглянути можливість незалежного спостереження для подальшого зменшення потенційних упереджень і вивчення ролі групової динаміки у формуванні етичних рішень.

2.3. Структурно-функціональна модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Метою структурно-функціональної моделі є формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на засадах етичної відповідальності. У межах цієї моделі етична відповідальність трактується як внутрішньо прийнята здатність до обґрунтованого етичного міркування, що формується завдяки систематичній рефлексії власної професійної діяльності, ціннісних орієнтацій та усвідомленню меж особистої відповідальності.

Формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства передбачає створення таких педагогічних умов, які сприяють активізації ціннісно-рефлексивних механізмів професійного мислення. Йдеться про формування усвідомлення етичних вимірів наукової й інженерної діяльності, вміння виявляти ризики та зони невизначеності, передбачати як безпосередні, так і віддалені наслідки технологічних рішень, а також ухвалювати відповідальні рішення в умовах відсутності однозначних і безальтернативних відповідей.

Структурно-функціональна модель призначена для впровадження в закладах вищої освіти, що здійснюють підготовку фахівців за спеціальностями у сфері матеріалознавства, прикладної фізики, мікро- та наносистемної інженерії, а також інших високотехнологічних галузей. Модель характеризується універсальністю застосування та може бути адаптована до різних освітніх програм і рівнів вищої освіти, оскільки не обмежується змістом окремої навчальної дисципліни, а репрезентує загальну концептуальну логіку формування етичної відповідальності як ціннісної характеристики готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Структурно-функціональна модель базується на визнанні людини, суспільства та довкілля пріоритетними цінностями й орієнтирами науково-технологічного розвитку. У межах моделі передбачається створення таких педагогічних умов, за яких майбутні фахівці у галузі наноматеріалознавства усвідомлюють соціальну зумовленість технологічних рішень, їхній вплив на різні групи стейкхолдерів та відповідальність за потенційні наслідки власної професійної діяльності.

Ціннісно-світоглядною основою моделі є розвиток здатності до критичного мислення, автономного професійного судження та рефлексії, що дозволяє майбутнім фахівцям у галузі наноматеріалознавства не лише дотримуватися зовнішніх вимог, а й самостійно ухвалювати етично виважені професійні рішення у галузі наноматеріалознавства.

Об’єктом розробки структурно-функціональної моделі є професійна підготовка майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства в закладах вищої освіти.

Предметом моделювання є процес формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Ефективність структурно-функціональної моделі оцінюється за рівнем сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Оцінювання ґрунтується на аналізі проявів етичного міркування, глибини аргументації, здатності враховувати невизначеність і наслідки професійних рішень, а також усвідомлення меж власної відповідальності.

У межах моделі виокремлюються три рівні сформованості готовності до професійної діяльності: початковий, середній та просунутий, які відображають динаміку переходу від фрагментарного усвідомлення етичних аспектів до інтеграції етичної відповідальності в професійну ідентичність фахівця.

На етапі розробки структурно-функціональної моделі здійснено аналіз сучасного стану професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. У процесі аналізу враховано тенденції розвитку нанонауки та нанотехнологій, зростання складності соціотехнічних систем, наявність нових етичних ризиків і викликів, пов’язаних із високою невизначеністю та потенціалом подвійного використання результатів досліджень. Також проаналізовано можливості освітнього процесу щодо формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, зокрема потенціал міждисциплінарних підходів, сценарного навчання, рефлексивного обговорення та аналітичної роботи з етичними дилемами.

Теоретичне забезпечення розробки структурно-функціональної моделі ґрунтується на аналізі вітчизняних і зарубіжних досліджень з етики науки і технологій, відповідальних досліджень та інновацій, професійної етики

інженерів і дослідників, а також праць, присвячених педагогічним моделям формування професійної готовності (Mytsyk & Suchikova, 2025; Suchikova, 2025; Suchikova & Nazarovets, 2025; Suchikova et al., 2025; Fores, 1982; Burdett, 2020; Wienroth, 2015; Børsen, 2025; Brosnan, 2002; Ball, 2002; Eddy et al., 2024; Carter, 2008).

Особливу увагу приділено роботам, у яких етика розглядається як процес рефлексивного міркування в умовах складності та невизначеності, а також дослідженням, що критикують редукцію етичної проблематики до формального дотримання норм (Nordmann; 2007; Suchikova, 2025; Grunwald, 2007; Roache, 2008; Spinney, 2012; Wiek et al., 2016; Hunt et al., 2022; Roduit et al., 2015; Giubilini & Sanyal, 2015; Hofmann, 2017; Persson & Savulescu 2008; Allhoff et al., 2010; Fischer, 2021; Frame & Brown, 2008; Funtowicz & Ravetz, 2001).

Для моделювання процесу формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства обрано структурно-функціональну модель, яка дає змогу цілісно відобразити взаємозв'язки між метою, методологічними засадами, змістово-процесуальним і діагностично-оцінювальним блоками та очікуваним результатом. Така форма моделювання забезпечує системне представлення процесу формування готовності до професійної діяльності, уможливлює виявлення функціональних зв'язків між його складниками та створює підґрунтя для подальшого теоретичного обґрунтування й практичної реалізації розробленої моделі (Рис. 2.4).

Зміст цільового блоку структурно-функціональної моделі містить мету, яка полягає у формуванні готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

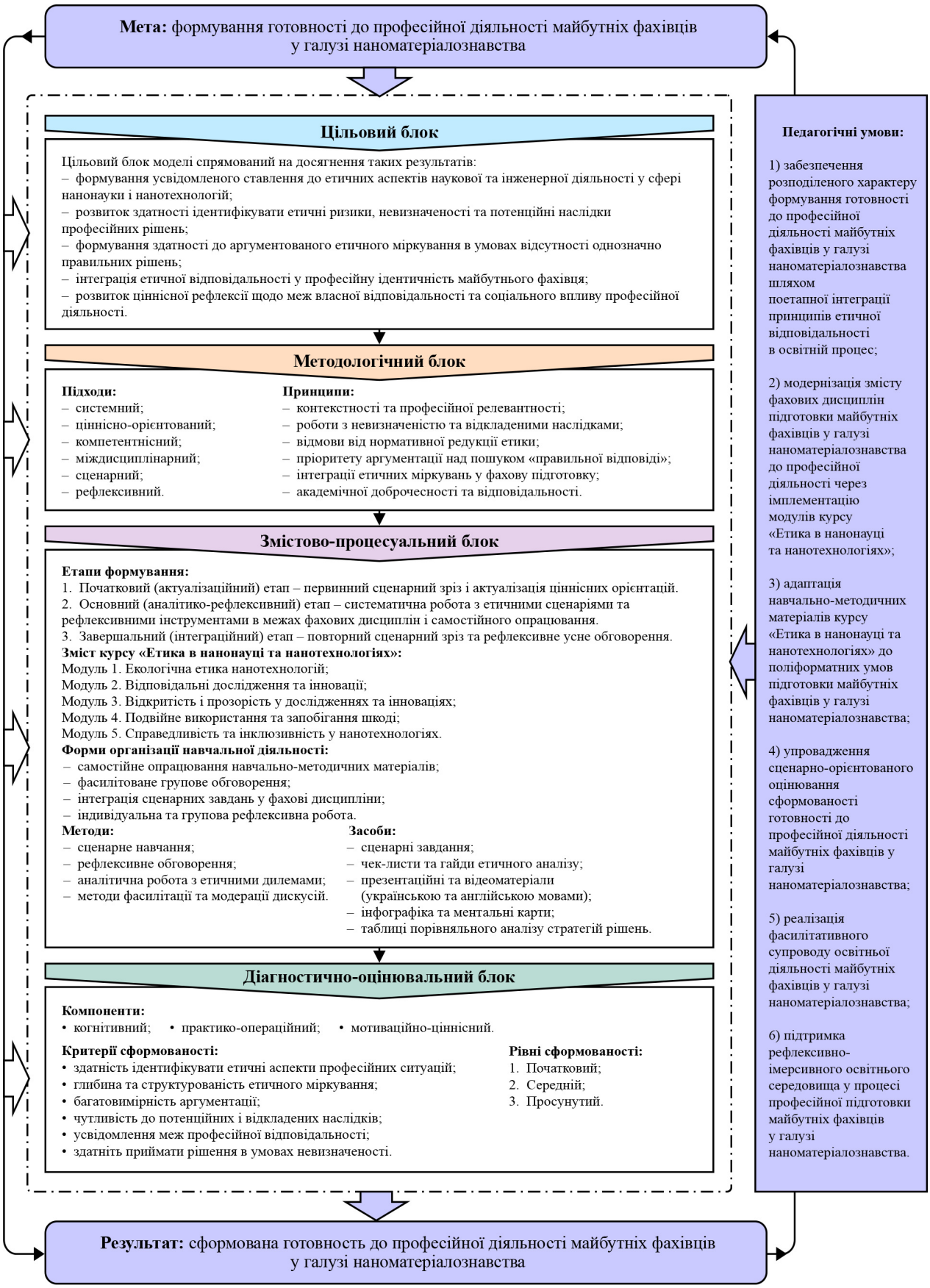

Рис. 2.4. Структурно-функціональна модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Відповідно до визначеної мети окреслено завдання, що передбачають:

– розвиток усвідомленого ставлення до етичних аспектів науково-дослідної та інженерної діяльності у сфері нанонауки й нанотехнологій; формування чутливості до етичних ризиків, невизначеностей і потенційних наслідків технологічних рішень;

– формування здатності до аргументованого етичного міркування, аналізу альтернативних позицій і врахування інтересів різних груп стейкхолдерів у процесі ухвалення професійних рішень;

– розвиток готовності працювати з ситуаціями відсутності однозначно правильних відповідей, прогнозувати відкладені соціальні, екологічні та гуманітарні наслідки застосування нанотехнологій;

– усвідомлення меж власної професійної відповідальності, формування внутрішньої готовності брати відповідальність за результати наукової та інженерної діяльності, а також здатності до рефлексії власних рішень і ціннісних орієнтацій.

Методологічний блок структурно-функціональної моделі відображає сукупність підходів і принципів формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Методологічну основу моделі становлять системний, ціннісно-орієнтований, компетентнісний і міждисциплінарний підходи, які забезпечують цілісне бачення процесу формування професійної готовності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Сценарний і рефлексивний підходи визначають процесуальну специфіку її формування, оскільки дозволяють моделювати складні професійні контексти, актуалізувати етичні дилеми та сприяти розвитку аргументованого етичного міркування в умовах невизначеності.

У межах системного підходу етична відповідальність пов’язується з когнітивними, практико-операційними та мотиваційно-ціннісними характеристиками особистості, а сам процес її формування осмислюється як педагогічно організована система, у якій взаємодіють мета, зміст, методи, форми, засоби та результати навчання.

Ціннісно-орієнтований підхід акцентує увагу на тому, що професійна підготовка майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства не може обмежуватися засвоєнням знань і технологічних умінь. Він передбачає формування у здобувачів стійких ціннісних орієнтацій, пов'язаних із повагою до людського життя, безпеки, екологічної сталості, соціальної справедливості та відповідального ставлення до наслідків науково-технічних рішень. Саме цей підхід задає гуманістичну спрямованість підготовки та дозволяє співвідносити професійну діяльність із ширшими суспільними й етичними орієнтирами.

Компетентнісний підхід дає змогу інтерпретувати готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства як здатність діяти відповідально в конкретних професійних ситуаціях. У такому розумінні важливими стають не лише обізнаність щодо етичних аспектів професійної діяльності, а й уміння аналізувати ситуацію, виявляти ризики, аргументувати власну позицію, приймати виважені рішення та нести відповідальність за їхні наслідки. Це дозволяє розглядати етичну відповідальність як практично значущий результат професійної підготовки.

Міждисциплінарний підхід є особливо важливим у контексті наноматеріалознавства як галузі, що формується на перетині фізики, хімії, матеріалознавства, біології, медицини, екології та інженерії. Етичні проблеми, пов'язані з розробкою та застосуванням наноматеріалів, також не можуть бути осмислені в межах лише однієї дисципліни, оскільки вони охоплюють технологічні, соціальні, екологічні, правові та гуманітарні виміри. Відповідно, формування готовності до професійної діяльності потребує інтеграції знань з різних галузей і розвитку здатності бачити проблему в її комплексності.

Рефлексивний підхід спрямований на розвиток здатності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства осмислювати власні судження, мотиви, рішення та їх можливі наслідки. У контексті формування готовності до професійної діяльності на засадах етичної відповідальності він має особливе значення, оскільки дозволяє перейти від формального знання

етичних норм до особистісно пережитого й усвідомленого ставлення до професійної діяльності. Завдяки рефлексії здобувачі освіти вчаться аналізувати суперечливі ситуації, співвідносити різні позиції, переглядати власні припущення та обґрунтовувати власний вибір.

Водночас саме сценарний підхід надає зазначеним методологічним орієнтирам процесуальної конкретності, оскільки створює педагогічні умови для моделювання складних професійних ситуацій, у яких етична відповідальність проявляється не декларативно, а в логіці аналізу, вибору та аргументації. Якщо системний, ціннісно-орієнтований, компетентнісний, міждисциплінарний і рефлексивний підходи визначають загальні методологічні засади формування готовності до професійної діяльності, то сценарний підхід забезпечує їх практичну реалізацію через роботу з етичними дилемами, невизначеністю, альтернативами рішень та прогнозуванням можливих наслідків.

Змістово-процесуальний блок структурно-функціональної моделі передбачає поетапну організацію процесу формування етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства і включає три етапи: початковий – актуалізаційний, спрямований на усвідомлення етичної проблематики професійної діяльності; основний – аналітико-рефлексивний, що забезпечує розвиток здатності до етичного аналізу, аргументації та врахування альтернативних позицій; завершальний – інтеграційний, орієнтований на включення етичної відповідальності в структуру професійної ідентичності майбутнього фахівця.

Зміст зазначеного блоку реалізується через п’ять взаємопов’язаних змістових компонентів етичної відповідальності: екологічну відповідальність; відповідальність у дослідженнях та інноваціях; відповідальність за відкритість і прозорість наукової діяльності; відповідальність у контексті проблеми подвійного використання результатів досліджень і запобігання шкоді; відповідальність пов’язана зі справедливістю та інклюзивністю у розподілі ризиків і вигод від впровадження нанотехнологій.

Процесуальна реалізація змістово-процесуального блоку передбачає використання різних форм організації освітнього процесу (індивідуальної, групової та змішаної), методів (сценарного навчання, рефлексивного обговорення, аналітичної роботи з етичними дилемами, фасилітації та модерації дискусій) і засобів (сценарних завдань, чек-листів та гайдів етичного аналізу, презентаційних і відеоматеріалів українською й англійською мовами, інфографіки, ментальних карт, таблиць порівняльного аналізу стратегій рішень), що забезпечують цілісність, послідовність і практичну спрямованість формування етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Окрім того, змістово-процесуальний блок передбачає насичення професійної підготовки майбутніх фахівців етично орієнтованими завданнями та ситуаціями, які сприяють інтеграції етичної відповідальності в реальний контекст майбутньої професійної діяльності у галузі наноматеріалознавства.

Ефективність формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства значною мірою залежить від реалізації сукупності педагогічних умов. До таких умов віднесено: забезпечення розподіленого характеру формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства шляхом поетапної інтеграції принципів етичної відповідальності в освітній процес, модернізація змісту фахових дисциплін підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності через імплементацію модулів курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», адаптація навчально-методичних матеріалів курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» до поліформатних умов підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, упровадження сценарно-орієнтованого оцінювання сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, реалізація фасилітативного супроводу освітньої діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, підтримка

рефлексивно-імерсивного освітнього середовища у процесі професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Діагностично-оцінювальний блок структурно-функціональної моделі передбачає оцінювання рівнів сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства за сукупністю критеріїв, що відображають особливості етичного міркування та ціннісної регуляції професійної діяльності. До таких критеріїв належать: здатність ідентифікувати етичні аспекти професійних ситуацій; глибина й аргументованість етичного аналізу; чутливість до потенційних і відкладених соціальних, екологічних та гуманітарних наслідків; усвідомлення меж власної професійної відповідальності; усвідомлення й прийняття відповідальності за прийняті рішення. Відповідно до визначених критеріїв виокремлюються три рівні сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства: початковий, середній та просунутий.

У процесі реалізації моделі виокремлюються основні види діяльності, які забезпечують формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців: пізнавальна діяльність, спрямована на осмислення етичних проблем і контекстів професійної діяльності у сфері наноматеріалознавства; ціннісно-орієнтаційна діяльність, пов’язана з формуванням етичних переконань, відповідальності та усвідомлення соціальної значущості науково-технічних рішень; рефлексивно-перетворювальна діяльність, що передбачає аналіз власних рішень, позицій і потенційних наслідків професійних дій; комунікативна діяльність, яка реалізується через обговорення, аргументацію та зіставлення різних етичних позицій у професійному середовищі; інтегративна діяльність, що забезпечує включення етичної відповідальності в структуру професійної ідентичності майбутнього фахівця.

Провідним видом у межах моделі є рефлексивно-перетворювальна діяльність, що реалізується через поступове ускладнення професійно орієнтованих етичних ситуацій і завдань:

– аналіз базових професійних ситуацій, у яких етична проблематика має локальний і явно окреслений характер, що відповідає початковому рівню сформованості етичної відповідальності;

– робота зі складними багатовимірними ситуаціями, де необхідно враховувати альтернативні позиції, інтереси різних стейкхолдерів і можливі наслідки рішень, що відповідає середньому рівню;

– аналіз комплексних професійних контекстів, пов’язаних із високою невизначеністю, потенціалом подвійного використання та відкладеними наслідками, що сприяє формуванню просунутого рівня етичної відповідальності.

Перехід від простіших до більш складних форм діяльності забезпечує поступове включення етичної відповідальності в реальний контекст майбутньої професійної діяльності, формування здатності застосовувати етичне міркування в умовах реальної складності та сприяє природному становленню відповідальної професійної позиції фахівця у галузі наноматеріалознавства.

Реалізація структурно-функціональної моделі професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства передбачає поетапну організацію цього процесу та здійснюється у три взаємопов’язані етапи: початковий (актуалізаційний), основний (аналітико-рефлексивний) та завершальний (інтеграційний).

Початковий (актуалізаційний) етап спрямований на усвідомлення майбутніми фахівцямиу галузі наноматеріалознавства наявності етичного виміру професійної діяльності у сфері нанонауки та нанотехнологій і формування первинної чутливості до етичних проблем, ризиків і невизначеностей. На цьому етапі відбувається актуалізація особистісного досвіду, ціннісних уявлень і початкових уявлень про професійну відповідальність, а також зіставлення власних інтуїтивних суджень з реальними професійними контекстами.

Початковий етап передбачає створення умов для входження здобувачів у проблемне поле етики високих технологій, усвідомлення складності соціотехнічних систем, потенціалу відкладених наслідків науково-технічних рішень і обмеженості формально-нормативних підходів до етичного регулювання. Важливим результатом цього етапу є формування мотиваційної готовності до подальшого етичного осмислення професійної діяльності та прийняття того факту, що в багатьох ситуаціях не існує однозначно правильних відповідей.

Ознаками результативності актуалізаційного етапу є підвищення інтересу до етичної проблематики, зростання чутливості до потенційних наслідків технологічних рішень, а також поява готовності ставити етичні запитання щодо власної майбутньої професійної діяльності.

Основний (аналітико-рефлексивний) етап пов’язаний із поглибленням етичного міркування та розвитком здатності до систематичного аналізу складних професійних ситуацій. На цьому етапі відбувається перехід від первинного усвідомлення етичної проблематики до її осмислення через зіставлення альтернативних позицій, аналіз інтересів різних груп стейкхолдерів, прогнозування потенційних і відкладених наслідків застосування нанотехнологій.

Аналітико-рефлексивний етап спрямований на розвиток аргументованості етичних суджень, здатності працювати з невизначеністю та суперечливістю, а також на формування навичок рефлексії власних рішень і ціннісних орієнтацій. У межах цього етапу етична відповідальність починає усвідомлюватися не як зовнішня вимога, а як внутрішня регулятивна установка професійної діяльності.

Результатом основного етапу є формування здатності до багатовимірного етичного аналізу професійних ситуацій, уміння аргументувати власну позицію з урахуванням альтернатив і обмежень, а також готовність визнавати межі власного знання та відповідальності.

Завершальний (інтеграційний) етап орієнтований на включення етичної відповідальності в структуру професійної ідентичності майбутнього фахівця у галузі наноматеріалознавства. На цьому етапі відбувається інтеграція набутих етичних установок, рефлексивних умінь і ціннісних орієнтацій у цілісну систему професійного саморозуміння.

Інтеграційний етап характеризується переходом від ситуаційного етичного міркування до стійкої готовності брати відповідальність за професійні рішення, усвідомлювати їхній соціальний, екологічний і гуманітарний вимір, а також приймати рішення в умовах високої невизначеності без опори на готові нормативні шаблони.

Результатом завершального етапу є сформована готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, що виявляється у здатності до самостійного, аргументованого та відповідального ухвалення рішень.

Отже, формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства визначено як процес цілеспрямованого педагогічного впливу на розвиток у здобувачів вищої освіти професійно значущих знань, умінь, ціннісних орієнтацій, рефлексивних здатностей і відповідального ставлення до майбутньої діяльності, завдяки якому забезпечується їхня здатність ефективно діяти у сфері наноматеріалознавства, враховувати міждисциплінарний характер професійних завдань, ризики та наслідки застосування нанотехнологій і приймати обґрунтовані професійні рішення.

Висновки до розділу 2

У другому розділі теоретично обґрунтовано та розроблено структурно-функціональну модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на засадах етичної відповідальності. Обґрунтовано, що основою такої підготовки має бути імерсивне освітнє середовище, побудоване на інтеграції трьох

взаємопов’язаних компонентів – освіти, науки та цінностей. Доведено, що саме ціннісний вимір надає професійній підготовці нормативної та гуманістичної спрямованості, а етика в цій системі не постає як ізольований навчальний модуль, а інтегрується в логіку професійного мислення і прийняття рішень майбутнього фахівця.

Розроблено курс «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» та навчально-методичне забезпечення для його реалізації в процесі професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі матеріалознавства. Курс спрямовано на формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Встановлено, що методологічною основою курсу є сценарний підхід, який дозволяє працювати зі складними професійними ситуаціями без однозначно правильних відповідей, актуалізує рефлексивне мислення, аргументацію, чутливість до ризиків і наслідків рішень. Обґрунтовано доцільність розподіленого формату реалізації курсу, що забезпечує можливість інтеграції його елементів у різні фахові дисципліни без формалізації етичної проблематики.

Визначено, що зміст курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» доцільно структурувати за п’ятьма взаємопов’язаними змістовими вимірами етичної відповідальності: екологічною відповідальністю; відповідальністю у дослідженнях та інноваціях; відповідальністю за відкритість і прозорість наукової діяльності; відповідальністю у контексті проблеми подвійного використання результатів досліджень і запобігання шкоді; відповідальністю, пов’язаною зі справедливістю та інклюзивністю у розподілі ризиків і корисносні від упровадження нанотехнологій. Це забезпечує системне охоплення ключових етичних викликів, релевантних для професійної діяльності у галузі наноматеріалознавства. Доведено, що дидактичний дизайн курсу має ґрунтуватися не на контролі засвоєння нормативних положень, а на аналізі якості етичного міркування, послідовності аргументації та здатності до рефлексії. Відповідно навчально-методичне забезпечення курсу охоплює сценарні завдання, презентаційні матеріали, відеоматеріали, інфографіку,

ментальні карти, чек-листи, гайди та таблиці порівняльного аналізу, що можуть використовуватися як у керованому викладачем форматі, так і для самостійного опрацювання здобувачами освіти.

Попередня апробація сценарного підходу засвідчила його методичну доцільність для виявлення та аналізу готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Встановлено, що сценарний формат у поєднанні з фасилітованим груповим обговоренням дає змогу фіксувати не лише результати вибору, а й зміни у способі міркування, аргументації, чутливості до наслідків рішень і здатності працювати з невизначеністю. Попередня апробація виконала діагностико-рефлексивну та методично-підготовчу функцію, створивши підґрунтя для подальшого уточнення інструментарію та дизайну основного експериментального дослідження. Обґрунтовано, що оцінювання має бути спрямоване не на фіксацію «правильних» відповідей, а на виявлення рівня етичної зрілості, який проявляється у логіці міркування, характері аргументації, врахуванні альтернатив, можливих наслідків і меж власної відповідальності.

Теоретично обґрунтовано та розроблено структурно-функціональну модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, у якій етична відповідальність визначена як системоутворювальний чинник, що поєднує окремі змістові виміри моделі в цілісну систему та визначає спрямованість усіх її компонентів. Встановлено взаємозв’язки між цільовим, методологічним, змістово-процесуальним і діагностично-оцінювальним блоками моделі, що забезпечують її логічну цілісність і можливість практичної реалізації в освітньому процесі.

Визначено, що методологічну основу моделі становлять системний, ціннісно-орієнтований, компетентнісний і міждисциплінарний підходи, а сценарний і рефлексивний підходи забезпечують процесуальну специфіку формування готовності до професійної діяльності. Змістово-процесуальний блок моделі передбачає поетапну організацію цього процесу через актуалізаційний, аналітико-рефлексивний та інтеграційний етапи, що

відображають динаміку переходу від первинного усвідомлення етичної проблематики до включення етичної відповідальності в структуру професійної ідентичності майбутнього фахівця.

Обґрунтовано педагогічні умови реалізації структурно-функціональної моделі, а саме: забезпечення розподіленого характеру формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства шляхом поетапної інтеграції принципів етичної відповідальності в освітній процес, модернізація змісту фахових дисциплін підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності через імплементацію модулів курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», адаптація навчально-методичних матеріалів курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» до поліформатних умов підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, упровадження сценарно-орієнтованого оцінювання сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, реалізація фасилітативного супроводу освітньої діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, підтримка рефлексивно-імерсивного освітнього середовища у процесі професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Створено концептуальне, дидактичне й методичне підґрунтя для подальшої експериментальної перевірки ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Основні результати розділу відображено в наукових працях автора: 8, 28, 29, 42, 49, 50, 51, 52, 53, 54.

Список використаних джерел до розділу 2

1. Aleksandrova H., Bohdanova M., Shulzhenko A., Rula N., Sychikova Y (2024) Nurturing values as a way to sustainable development: the case of Berdyansk State Pedagogical University In Redefining Higher Education: Innovation, Inclusion, and Sustainable Development During Wartime Edited by Yana Sychikova. PRIVAT COMPANY TECHNOLOGY CENTER. (p. 199 – 232) https://doi.org/10.15587/978-617-8360-07-8.ch5

2. Alfaro Serrano, B., Gheorghe, L. C., Exner, T., Resch, S., Wolf, C., Himly, M., Falk, A., Bossa, N., Vazquez, S., Papadiamantis, A., Afantitis, A., Melagraki, G., Maier, D., Sarimveis, H., Willighagen, E., Lobaskin, V., Oldfield, J., & Lynch, I. (2024). The role of FAIR nanosafety data and nanoinformatics in achieving the UN Sustainable Development Goals: the NanoCommons experience. RSC Sustainability. https://doi.org/10.1039/d3su00148b

3. Allhoff F, Lin P, Moor J, Weckert J (2010) Ethics of human enhancement: 25 questions & answers. Stud Ethics Law Technol 4(1):20121004. https://doi.org/10.2202/1941-6008.1110

4. Ashraf, S. A., Siddiqui, A. J., Elkhalifa, A. E. O., Khan, M. I., Patel, M., Alreshidi, M., Moin, A., Singh, R., Snoussi, M., & Adnan, M. (2021). Innovations in nanoscience for the sustainable development of food and agriculture with implications on health and environment. Science of The Total Environment, 768, 144990. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.144990

5. Assey, G. E., & Malasi, W. S. (2021). Advances in Nanomaterials Sciences and Nanotechnology for Sustainable Development: A Review. Tanzania Journal of Science, 47(4), 1450–1463. https://doi.org/10.4314/tjs.v47i4.11

6. Balakrishnan, B., Er, P. H., & Visvanathan, P. (2012). Socio-ethical Education in Nanotechnology Engineering Programmes: A Case Study in Malaysia. Science and Engineering Ethics, 19(3), 1341–1355. https://doi.org/10.1007/s11948-012-9418-z

7. Ball P (2002) Nanotech nightmare. Nat Mater 1(3):152. https://doi.org/10.1038/nmat748

8. Bohdanov, I., Kovachov, S., Tsybuliak, N., Lopatina, H., Popova, A., & Suchikova, Y. (2023). Resilience in Wartime Research: Case of Anticrisis Management at a Ukrainian University. In 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT). IEEE. https://doi.org/10.1109/csit61576.2023.10324134

9. Børsen T (2025) Technology assessment and postnormal science. Futures 166:103515. https://doi.org/10.1016/j.futures.2024.103515

10. Borenstein, J., Drake, M. J., Kirkman, R., & Swann, J. L. (2010). The Engineering and Science Issues Test (ESIT): A discipline-specific approach to assessing moral judgment. Science and Engineering Ethics, 16(2), 387–407. https://doi.org/10.1007/s11948-009-9148-z

11. Brosnan MJ (2002) Technophobia. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203436707

12. Burdett M (2020) Technology's 'Invisible Hand'? In B Silva, S. Kopf (eds) Divine and human providence philosophical, psychological and theological approaches, Routledge, pp. 138–152 https://doi.org/10.4324/9780429330087-10

13. Carter A (2008) Learning from history: Understanding the carcinogenic risks of nanotechnology. JNCI J Natl Cancer Institute 100(23):1664–1665. https://doi.org/10.1093/jnci/djn431

14. Davis, M., & Feinerman, A. (2012). Assessing graduate student progress in engineering ethics. Science and Engineering Ethics, 18(2), 351–367. https://doi.org/10.1007/s11948-010-9250-2

15. Eddy NO, Garg R, Ukpe RA, Akpanudo NW, Abugu H, Garg R, Anjum A, Anand B. (2024) Ethical and environmental implications associated with the application of nanotechnology. In R Garg, A Anjum (eds) Smart and sustainable applications of nanocomposites. IGI Global. pp. 274-299. https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1094-6.ch010

16. Giubilini A, Sanyal S (2015) The ethics of human enhancement. Philos Compass 10(4):233–243. https://doi.org/10.1111/phc3.12208

17. Göçen, A., & Bulut, M. A. (2024). Teaching Ethics in Teacher Education: ICT-Enhanced, Case-Based and Active Learning Approach with Continuous Formative Assessment. Journal of Academic Ethics. https://doi.org/10.1007/s10805-024-09503-0

18. Grunwald A (2010) From speculative nanoethics to explorative philosophy of nanotechnology. NanoEthics 4(2):91–101. https://doi.org/10.1007/s11569-010-0088-5

19. Fischer N, Dannenberg S (2021) The social construction of futures. Futures 129:102729. https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102729

20. Fores M (1982) Technical change and the 'technology' myth. Scand Econ Hist Rev 30(3):167–188. https://doi.org/10.1080/03585522.1982.10407985

21. Frame B, Brown J (2008) Developing post-normal technologies for sustainability. Ecol Econ 65(2):225–241. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.11.010

22. Hildt, E., Laas, K., Miller, C. Z., & Brey, E. M. (2024). Building Inclusive Ethical Cultures in STEM. In The International Library of Ethics, Law and Technology (pp. 1–13). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-51560-6_1

23. Funtowicz S, Ravetz J (2001) Post-normal science. Science and governance under conditions of complexity. In M Decker (ed) Interdisciplinarity in technology assessment, Springer, Berlin and Heidelberg, pp. 15–24. https://doi.org/10.1007/978-3-662-04371-4_2

24. Hofmann B (2017) Limits to human enhancement: Nature, disease, therapy or betterment? BMC Med Ethics 18(1):1. https://doi.org/10.1186/s12910-017-0215-8

25. Hunt NJ, McCourt PAG, Kuncic Z, Le Couteur DG, Cogger VC (2022) Opportunities and challenges for nanotherapeutics for the aging population. Front Nanotechnol 4:832524. https://doi.org/10.3389/fnano.2022.832524

26. Khan, A. S. (2014). Ethics and nanotechnology. In 2014 IEEE International Symposium on Ethics in Engineering, Science, and Technology (ETHICS). IEEE. https://doi.org/10.1109/ethics.2014.6893462

27. Kotluk, N., & Tormey, R. (2022). Emotional empathy and engineering students' moral reasoning. Towards a New Future in Engineering Education, New Scenarios That European Alliances of Tech Universities Open Up, 458–467. https://doi.org/10.5821/conference-9788412322262.1124

28. Kovachov, S., Bohdanov, I., & Suchikova, Y. (2023). Nano or Na-No? Ukraine's crisis of opportunity in nanotechnology education. Industry and Higher Education. https://doi.org/10.1177/09504222231209259

29. Kurylo O., Kovachov S., Kryvylova O., Bohdanov I., Sychikova Y (2024) Education-Science-Values: A Triple Helix Approach to Nanotechnology Education for Sustainable Development In Redefining Higher Education: Innovation, Inclusion, and Sustainable Development During Wartime Edited by Yana Sychikova. PRIVAT COMPANY TECHNOLOGY CENTER. (p. 158 – 157) https://doi.org/10.15587/978-617-8360-07-8.ch5

30. Lopatina H., Tsybuliak N, Popova A., Bohdanov I., Sychikova Y(2024) Ukraine's academic potential during the war: understanding influencing factors and preservation strategies. In Redefining Higher Education: Innovation, Inclusion, and Sustainable Development During Wartime Edited by Yana Sychikova. PRIVAT COMPANY TECHNOLOGY CENTER (p. 5 – 47) https://doi.org/10.15587/978-617-8360-07-8.ch1

31. Mytsyk, H., & Suchikova, Y. (2025). Wandering into the weeds or planting seeds? Balancing depth and breadth in early and late career research. Higher Education Research & Development, 44(8), 2159–2168. https://doi.org/10.1080/07294360.2025.2543411

32. Mnyusiwalla, A., Daar, A. S., & Singer, P. A. (2003). Mind the gap: science and ethics in nanotechnology. Nanotechnology, 14(3), R9–R13. https://doi.org/10.1088/0957-4484/14/3/201

33. Nordmann A (2007) If and then: A critique of speculative nanoethics. NanoEthics 1(1):31–46. https://doi.org/10.1007/s11569-007-0007-6

34. Persson I, Savulescu J (2008) The perils of cognitive enhancement and the urgent imperative to enhance the moral character of humanity. J Appl Philos 25(3):162–177. https://doi.org/10.1111/j.1468-5930.2008.00410.x

35. Rasmussen, A. J., & Ebbesen, M. (2013). Why Should Nanoscience Students be Taught to be Ethically Competent? Science and Engineering Ethics, 20(4), 1065–1077. https://doi.org/10.1007/s11948-013-9494-8

36. Roache R (2008) Ethics, speculation, and values. NanoEthics 2(3):317–327. https://doi.org/10.1007/s11569-008-0050-y

37. Roduit JAR, Heilinger J-C, Baumann H (2015) Ideas of perfection and the ethics of human enhancement. Bioethics 29(9):622–630. https://doi.org/10.1111/bioe.12192

38. Rolfe, D. (2014). No field is an island: why we should have been having an interdisciplinary discussion about nano-ethics all along. Journal of Responsible Innovation, 1(2), 240–241. https://doi.org/10.1080/23299460.2014.922340

39. Spinney L (2012) Busted! The myth of technological progress. New Scientist 215(2884):30–33. https://doi.org/10.1016/s0262-4079(12)62514-7

40. Suchikova, Y. (2025). Risks and Realities of Speculative Ethics: Lessons from Nanotechnology for the Artificial Intelligence Discourse. Nanoethics 19, 15 . https://doi.org/10.1007/s11569-025-00477-w

41. Suchikova, Y., & Nazarovets, S. (2025). Extending the CARE Principles: Managing data for vulnerable communities in wartime and humanitarian crises. Scientific Data, 12(1), 420. https://doi.org/10.1038/s41597-025-04756-9

42. Suchikova, Y., Kovachov, S., Kryvylova, O. et al. (2025). Developing Ethical Responsibility in Future Nanoscience Professionals Through Scenario-Based Assessment. Sci Eng Ethics 31, 23. https://doi.org/10.1007/s11948-025-00549-w

43. Sunderland, M. E. (2019). Using student engagement to relocate ethics to the core of the engineering curriculum. Science and Engineering Ethics, 25(6), 1771–1788. https://doi.org/10.1007/s11948-013-9444-5

44. Tammeleht, A., Rodríguez-Triana, M. J., Koort, K., & Löfström, E. (2019). Collaborative case-based learning process in research ethics. International Journal for Educational Integrity, 15(1). https://doi.org/10.1007/s40979-019-0043-3

45. Tawiah, B., Seidu, R. K., Fobiri, G. K., & Chichi, C. A. (2024). Nanotechnology and Education: Preparing the Next Generation of Future Leaders. In Advanced Technologies and Societal Change (pp. 247–270). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-6184-5_7

46. Thiel, C. E., Connelly, S., Harkrider, L., Devenport, L. D., Bagdasarov, Z., Johnson, J. F., & Mumford, M. D. (2011). Case-Based Knowledge and Ethics Education: Improving Learning and Transfer Through Emotionally Rich Cases. Science and Engineering Ethics, 19(1), 265–286. https://doi.org/10.1007/s11948-011-9318-7

47. Wienroth M (2015) Knowing new biotechnologies. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315776781

48. Wiek A, Foley RW, Guston DH, Bernstein MJ (2016) Broken promises and breaking ground for responsible innovation – intervention research to transform business-as-usual in nanotechnology innovation. Technol Analysis Strategic Manag 28(6):639–650. https://doi.org/10.1080/09537325.2015.1129399

49. Ковачов, С., Попова, А., Богданов, І., & Сичікова, Я. (2023 a). Концептуальні засади підготовки нанотехнологів для створення наноматеріалів подвійного призначення. Actual Problems in the System of Education: General Secondary Education Institution – Pre-University Training – Higher Education Institution, (3), 368–376. за матеріалами IX Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми в системі освіти: заклад загальної середньої освіти – доуніверситетська підготовка – заклад вищої освіти» 17 лютого 2023 року, м. Київ, Україна https://doi.org/10.18372/2786-5487.1.17717

50. Ковачов, С., Сичікова, Я., Попова, А., & Богданов, І. (2023 b). Засоби та методи асинхронного навчання при підготовці наноінженерів до професійної діяльності. Наукові записки БДПУ, Серія: Педагогічні науки, (1), 264-278.

51. Ковачов С., Кривильова, О., & Сичікова Я. (2026). Етика в нанонауці та нанотехнологіях. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.19948355

52. Попова, А., Сичікова, Я., Цибуляк, Н., Лопатіна, Г., Ковачов, С., & Попов, П. (2023). Дистанційне та змішане навчання в університетах України: Рефлексії щодо їх впровадження у мирний та воєнний час. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 2, 98–117. https://doi.org/10.31494/2412-9208-2023-1-2-98-117

53. Сичікова , Я. О., Ковачов , С. С., Попова , А. С., & Богданов , І. Т. (2023a). Цифрова трансформація та біхронне навчання під час війни: практичний приклад підготовки майбутніх наноінженерів. Дистанційна освіта в Україні: інноваційні, нормативно-правові, педагогічні аспекти, 1(3), 357–371. IV Міжнародна науково-практична конференція «Дистанційна освіта: інноваційні, нормативно-правові, педагогічні аспекти», присвячена 90-річчю Національного авіаційного університету 18 травня 2023 року, м. Київ, Україна Київ 2023 https://doi.org/10.18372/2786-5495.1.17799

54. Сичікова, Я., Ковачов, С., Несторенко, О., & Макаренко, Т. (2023b). Рефлексивний аналіз сучасних викликів вищої освіти в сфері нанотехнологій: український контекст та глобальні перспективи. Technologies and society: innovations, artificial intelligence, and challenges (с. 293–304). Katowice, Poland. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/1747

РОЗДІЛ 3
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

3.1. Організація перевірки ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Експериментальне дослідження спрямоване на перевірку ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства (Богданов та ін, 2024 a, b; Сичікова та ін., 2024 a, b; Kovachov et al., 2023; 2024). Його реалізація передбачала впровадження навчально-методичного комплексу, побудованого за модульним принципом, який функціонував не як окрема навчальна дисципліна, а як інструмент інтеграції етичного виміру в базові курси, а також як відкритий ресурс для самостійного опрацювання. Враховуємо, що етична відповідальність у високотехнологічних галузях не зводиться до засвоєння нормативно заданих правил, а формується через розвиток рефлексивного етичного міркування в умовах невизначеності, конфлікту цінностей і відсутності однозначно правильних рішень (Suchikova et al., Kovachov et al., 2024; Joly et al., 2021; Miranda & Devezas, 2022; Seemiller & Crosby, 2019; Svihla & Chen, 2022; Floridi et al., 2018).

Зміст курсу структуровано у вигляді п’яти взаємопов’язаних модулів (Рис. 3.1), кожен із яких відповідав окремому аспекту етичної відповідальності: екологічній етиці (Hertwich, 2021), відповідальним дослідженням та інноваціям (Miranda & Devezas, 2022; Joly & Le Renard, 2021), відкритості та прозорості (UNESCO, 2021), запобіганню шкоді в умовах подвійного використання (National Academies of Sciences, 2018; Suchikova &

Nazarovets, 2025; 2026), а також справедливості та інклюзивності (Gurenko & Suchikova, 2023; Hurenko et al., 2023).

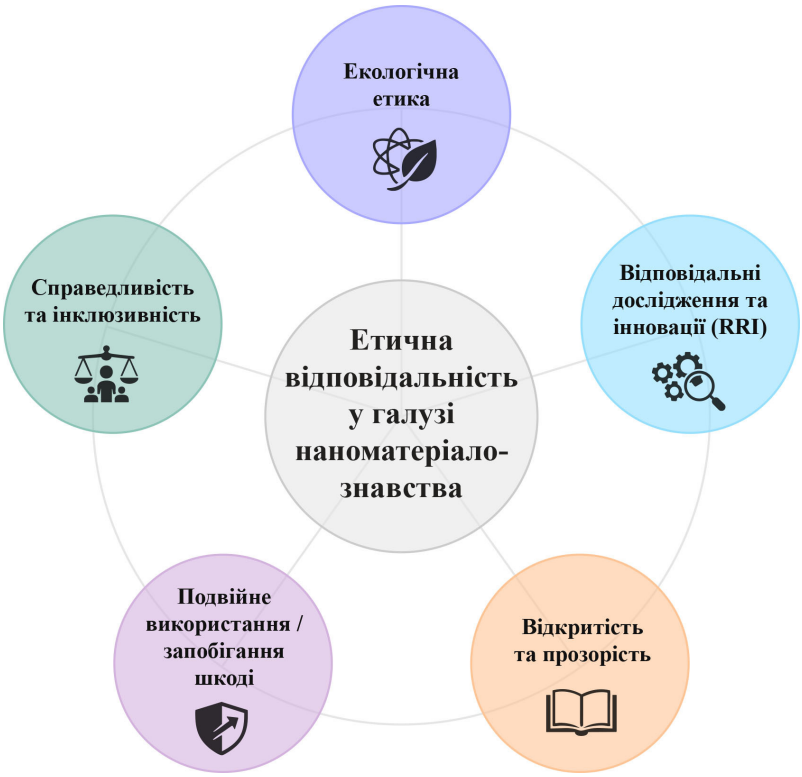

Рис. 3.1. Структура навчального курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях»

Кожен із модулів був орієнтований не на перевірку знань чи фіксацію поведінкових установок, а на створення умов для самостійного осмислення етичних аспектів професійної діяльності. У цьому контексті вплив мав накопичувальний характер і був спрямований на трансформацію типу етичного міркування – від інтуїтивного або техноцентричного до інтегрованого, рефлексивного та контекстно чутливого.

Комплекс навчально-методичних матеріалів містив теоретичні пояснювальні блоки, мікролекції, аналітичні гайди, чек-листи самоперевірки, пам’ятки швидкої етичної орієнтації, добірки прикладів і матеріали у форматі «часті питання». Така структура дозволила забезпечити варіативність рівнів залучення здобувачів і адаптацію матеріалів до різних освітніх контекстів.

Ключовою особливістю формувального впливу було те, що матеріали курсу не передбачали обов’язкового зовнішнього оцінювання або контролю з боку викладача. Натомість акцент робився на індивідуальній саморефлексії, здатності ідентифікувати етичні ризики, усвідомлювати обмеження власних рішень та аргументовано працювати з невизначеністю.

Формувальний вплив реалізовувався у двох взаємодоповнювальних форматах. По-перше, матеріали курсу інтегрувалися в основні навчальні дисципліни у формі тематичних вставок, пояснювальних блоків або рефлексивних інструментів, що використовувалися безпосередньо під час лекцій і практичних занять. По-друге, курс був доступний у форматі відкритого ресурсу для самостійного опрацювання, що забезпечувало можливість індивідуального темпу навчання та повторного звернення до матеріалів.

Окремими елементами формувального впливу стали дві колективні рефлексивні взаємодії з викладачем: обговорення результатів першого раунду сценарного оцінювання та підсумкова рефлексія після завершення курсу. Ці взаємодії не мали характеру корекції відповідей, а були спрямовані на усвідомлення різноманітності можливих етичних позицій і логік міркування.

Формувальний вплив був спрямований не на досягнення єдиної «етично правильної» позиції, а на розвиток здатності до інтегрованого етичного міркування. Очікувані зміни стосувалися, зокрема, переходу від спрощених або одновимірних рішень до більш складних, компромісних та рефлексивних позицій, що враховують довгострокові наслідки, соціальний контекст і потенційні ризики.

Таким чином, ефективність формувального впливу оцінювалася не за змістом конкретних відповідей, а за зміною рівня сформованості етичної відповідальності, зафіксованою під час повторного сценарного оцінювання. Саме ця зміна інтерпретується як результат впливу розробленого курсу та його модулів.

В експериментальному дослідженні взяли участь 280 здобувачів вищої освіти Луцького національного технічного університету, Сумського національного аграрного університету, Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного та Бердянського державного педагогічного університету, які навчаються за спеціальностями 105 Прикладна фізика та наноматеріали, 132 Матеріалознавство, 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, 208 Агроінженерія, 101 Екологія та ін. (Додаток Г). Упродовж 2024–2026 років учасники дослідження були залучені до навчання за інтегрованим навчальним модулем, спрямованим на формування готовності до професійної діяльності, пов'язаним із розробленням, дослідженням і застосуванням наноматеріалів та інших наукоємних технологій.

Навчальний курс охоплював такі тематичні блоки: екологічна етика та сталий розвиток; відповідальність за інновації; принципи відкритої науки та управління науковими даними; запобігання шкоді та ризики подвійного призначення; справедливість та інклюзія в науковій і технологічній діяльності.

Отже, дослідження проводилося в умовах звичайного освітнього процесу, без додаткового адміністративного або часового навантаження на студентів.

Формування вибірки у дослідженні здійснювалося за принципом суцільного обстеження, оскільки до участі було залучено всіх студентів, які впродовж 2024–2026 навчальних років були залучені до опрацювання інтегрованого змістового модуля, спрямованого на формування готовності до професійної діяльності. За такого підходу вибірка не є підмножиною популяції, а повністю з нею збігається у межах визначених інституційних та часових рамок дослідження (Cantwell, 2008).

Застосування суцільного обстеження дозволяє мінімізувати ризики вибіркової похибки та селекційного упередження; забезпечити високу внутрішню валідність результатів щодо досліджуваної когорти; уникнути

необхідності рандомізації, яка в умовах реального освітнього процесу є методично та організаційно обмеженою (Rosenbaum, 2020).

З огляду на те, що в дослідженні використовуються як описові методи аналізу, так і моделі теорії відповіді на завдання (Cai et al., 2016), додатково було здійснено аналітичну перевірку достатності чисельності вибірки з позицій статистичної потужності. Така перевірка не має на меті замінити дизайн суцільного обстеження, а слугує підтвердженням того, що отримана кількість спостережень є достатньою для виявлення помірних статистичних залежностей, характерних для досліджень освітньої динаміки.

Для обґрунтування достатності вибірки було використано класичні аналітичні підходи до попереднього оцінювання статистичної потужності, засновані на нормальному наближенні. Зокрема, у випадку кореляційного аналізу, застосованого для дослідження взаємозв'язків між окремими показниками сформованості готовності до професійної діяльності, мінімально необхідна чисельність вибірки може бути оцінена за формулою, що ґрунтується на перетворенні Фішера (Fisher, 1915; Zhang & Yuan, 2018).

За консервативного припущення про помірну силу зв'язку, характерну для досліджень у сфері освіти та соціальних наук, при двобічному рівні значущості $\alpha = 0{,}05$ та бажаній потужності $1 - \beta = 0{,}90$ мінімально необхідна чисельність вибірки становить приблизно 110–120 осіб. Фактична чисельність вибірки у даному дослідженні (280 студентів) більш ніж удвічі перевищує цей мінімальний поріг, що свідчить про достатній запас статистичної надійності для запланованих аналізів.

Крім загальної чисельності вибірки, при застосуванні моделей теорії відповіді на завдання враховуються також структурні характеристики вимірювального інструменту, зокрема кількість завдань, кількість категорій відповіді та однорідність вибірки. У дослідженні використано 15 сценарних завдань із трирівневою шкалою відповідей, а обсяг вибірки відповідає методичним рекомендаціям щодо стабільного оцінювання параметрів Моделі

часткового кредиту у прикладних освітніх дослідженнях (Masters, 1982; Bond et al., 2020).

Атріція (вибуття учасників) у дослідженні відсутня. Участь у двох раундах оцінювання була частиною обов'язкової навчальної діяльності в межах залікового модуля, внаслідок чого всі 280 студентів пройшли обидва вимірювання. Це дозволило уникнути спотворення результатів, пов'язаного з втратою вибірки, та забезпечило повну порівнюваність даних на рівні респондентів.

Збір емпіричних даних проводився у два етапи з використанням спеціально розробленого сценарного інструменту для оцінювання рівня готовності до професійної діяльності на засадах етичної відповідальності (Додаток В). Кожен етап передбачав виконання 15 сценарних завдань, розподілених за п'ятьма змістовими модулями, у межах кожного з яких було представлено по три завдання.

Сценарні завдання першого і другого етапів дослідження були змістовно співвідносними, проте відрізнялися за формулюванням. Такий підхід дозволив, з одного боку, зменшити вплив механічного запам'ятовування відповідей, а з іншого – простежити, якою мірою студенти здатні застосовувати етичні міркування до нових, але подібних за змістом професійних ситуацій. Відповідно, дослідження передбачало повторне опитування тих самих респондентів із використанням двох взаємопов'язаних наборів сценаріїв. Під час розв'язання кожного сценарію студент обирав один із трьох запропонованих варіантів відповіді, що відображали різний рівень готовності до професійної діяльності:

1. Етично неприйнятна або мінімально відповідальна позиція. Характерні ознаки: ігнорування ризиків нанорівня; перекладання відповідальності («це не моя справа», «це вирішать інші»); технооптимізм без рефлексії; пріоритет ефективності без аналізу наслідків.

2. Частково обґрунтована, компромісна позиція. Ознаки: визнання проблеми, але без готовності діяти системно; балансування між цінностями

без чіткого етичного пріоритету; апеляція до процедур, регуляторів, «обмеженого застосування».

3. Етично виважене, відповідальне рішення. Ознаки: усвідомлення невизначеності наноризиків; принцип обережності або відповідальної інновації; інтеграція екологічних, соціальних і наукових аспектів; готовність брати на себе частину відповідальності.

Слід зазначити, що Рівень 3 у межах запропонованої шкали не інтерпретується як «морально правильна» відповідь, а відображає здатність респондента до інтегрованого, рефлексивного етичного міркування, що враховує невизначеність, потенційні наслідки та відповідальність за ухвалене рішення. Оцінювання проводилося за допомогою специфічних для сценаріїв ключів. Варіанти відповідей не були рівномірно ранжовані за сценаріями; натомість кожен варіант був закодований відповідно до основного типу етичного мислення, яке він відображав. Цей підхід був обраний навмисно, щоб уникнути соціально бажаних відповідей та врахувати контекстуальний та нелінійний характер етичної відповідальності у прийнятті рішень, пов’язаних з нанотехнологіями. Таким чином, результати опитування представлені у вигляді порядкових оцінок із трьома фіксованими рівнями.

Первинна перевірка якості зібраних даних засвідчила: повну заповненість анкет у обох етапах дослідження; відсутність відповідей, що виходять за межі передбаченої шкали оцінювання; відсутність повторів, технічних помилок або інших артефактів у масиві даних; логічну узгодженість відповідей у межах кожного сценарію. Аналіз розподілів сумарного показника етичної відповідальності та показників за окремими компонентами засвідчив їх асиметричний характер у обох раундах дослідження. Це підтверджується статистично значущими результатами критерію Шапіро–Уїлка ($p < 0,01$), а також значеннями коефіцієнта асиметрії, які для окремих компонентів перевищували за модулем 0,3–0,5 (Таблиці 3.1, 3.2). Статистично значущі результати критерію Шапіро–Уїлка ($p < 0,001$) для всіх агрегованих показників є очікуваними з огляду на велику чисельність вибірки та порядкову

природу вихідних даних і не інтерпретуються як ознака суттєвих порушень, а використовуються виключно для обґрунтування вибору непараметричних і модельно-орієнтованих методів аналізу. З огляду на зазначені характеристики дані не трактувалися як інтервальні, а подальші аналітичні процедури добиралися з урахуванням їх порядкової природи та особливостей дизайну дослідження.

Таблиця 3.1.

Описові статистики показників етичної відповідальності (Раунд 1)

Показник	Медіана	IQR	Skewness	Shapiro–Wilk W	p
Сумарний показник	25.0	4.0	−0.10	0.986	0.009
Екологічна етика	1.67	0.67	0.40	0.927	<0.001
Відповідальні інновації	1.67	0.67	0.23	0.926	<0.001
Відкрита наука	1.67	0.67	0.33	0.925	<0.001
Подвійне призначення	1.67	0.67	0.30	0.925	<0.001

Таблиця 3.2.

Описові статистики показників етичної відповідальності (Раунд 1)

Показник	Медіана	IQR	Skewness	Shapiro–Wilk W	p
Сумарний показник	35.0	4.0	−0.37	0.979	<0.001
Екологічна етика	2.33	0.67	−0.37	0.925	<0.001
Відповідальні інновації	2.33	0.67	−0.36	0.934	<0.001
Відкрита наука	2.33	0.67	−0.30	0.930	<0.001
Подвійне призначення	2.33	0.67	−0.37	0.927	<0.001

З урахуванням характеристик отриманих даних та дизайну дослідження у роботі застосовано такі аналітичні підходи: описову статистику для аналізу розподілів відповідей і формування профілів етичної відповідальності (Tukey,

1977); кореляційний аналіз Спірмена (ρ) для вивчення взаємозв'язків між окремими компонентами етичної відповідальності (Spearman, 1904); ординальні показники надійності (ordinal α, коефіцієнт ω Макдональда) для оцінювання внутрішньої узгодженості композитних компонентів (Cronbach, 1951; Zumbo et al., 2007; McDonald, 1999; Dunn et al., 2014); моделі теорії відповіді на завдання (Partial Credit Model) для аналізу латентного рівня етичної відповідальності та порівняння результатів двох раундів оцінювання у спільній метричній шкалі (Lord & Novick, 1968; Masters, 1982).

Описова статистика використовувалася для первинного узагальнення емпіричних результатів і виявлення особливостей розподілу відповідей у межах кожного раунду оцінювання. Її застосування дало змогу охарактеризувати центральну тенденцію, варіативність і загальний профіль сформованості окремих показників етичної відповідальності, а також виявити відмінності між різними тематичними блоками інструменту.

Кореляційний аналіз Спірмена було обрано з огляду на порядковий характер даних та необхідність дослідити взаємозв'язки між окремими показниками етичної відповідальності без припущення про нормальний розподіл. Його використання дало змогу з'ясувати, наскільки узгоджено функціонують окремі показники в межах загальної структури етичної відповідальності та чи зберігають вони змістову диференціацію.

Для оцінювання внутрішньої узгодженості композитних показників було використано ординальні показники надійності, зокрема ordinal α та коефіцієнт ω Макдональда. Їх застосування є методично доцільним у випадках, коли дані мають порядкову природу, а самі показники формуються на основі кількох сценарних завдань. Це дозволило оцінити, наскільки послідовно окремі завдання репрезентують відповідний змістовий блок інструменту. Окреме місце в аналітичній стратегії посіли моделі теорії відповіді на завдання, зокрема Partial Credit Model. Їх використання було зумовлене необхідністю перейти від аналізу окремих відповідей до оцінювання латентного рівня етичної відповідальності, а також забезпечити

коректне порівняння результатів двох раундів оцінювання, у яких використовувалися паралельні, але не ідентичні набори сценарних завдань. Саме цей підхід дозволив інтерпретувати результати в межах спільної метричної шкали та виявити динаміку змін не лише на рівні окремих відповідей, а й на рівні прихованого конструкта. Застосування сукупності зазначених аналітичних підходів зумовлене складною структурою досліджуваного об'єкта та особливостями дизайну дослідження. Жоден із використаних методів окремо не дозволяє повною мірою описати водночас розподіли відповідей, характер взаємозв'язків між окремими показниками етичної відповідальності та динаміку латентного показника за умов використання двох паралельних наборів сценарних завдань. Описова статистика забезпечує загальне уявлення про профілі відповідей, кореляційний аналіз – про взаємопов'язаність окремих показників, ординальні коефіцієнти надійності – про внутрішню узгодженість композитних показників, тоді як моделі теорії відповіді на завдання дають змогу перейти до інтерпретації латентного рівня етичної відповідальності та здійснити коректне порівняння результатів двох раундів у спільній метричній шкалі.

У роботі свідомо не застосовувалися параметричні критерії Пірсона та Стьюдента, оскільки отримані дані мають порядковий характер, а дизайн дослідження передбачає використання паралельних, але не ідентичних форм інструменту. Застосування таких критеріїв могло б призвести до методичних спрощень і спотворень інтерпретації результатів. Натомість було використано поєднання непараметричних методів та моделей теорії відповіді на завдання, що є більш адекватним для аналізу сценарних оцінювань.

Статистичний аналіз даних здійснювався з використанням програмних засобів R та SPSS.

Таким чином, підготовлені дані є повними, внутрішньо узгодженими та методично придатними для проведення подальшого кількісного аналізу, результати якого представлено у наступному підрозділі.

3.2. Аналіз результатів перевірки ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

На першому етапі описового аналізу було здійснено узагальнену оцінку розподілів відповідей студентів у кожному з двох раундів сценарного оцінювання. Аналіз проводився окремо для першого та другого раундів з метою виявлення загальних тенденцій у виборі рішень, що відображають різні рівні етичної відповідальності, без прямого порівняння сирих сумарних балів за принципом «до–після».

Результати першого раунду свідчать про виражену неоднорідність відповідей як між окремими сценаріями, так і між узагальненими компонентами інструменту. Для більшості ситуацій домінували відповіді, що відповідали початковому або середньому рівню готовності до професійної діяльності на засадах етичної відповідальності. Просунутий рівень етичної аргументації траплявся відносно рідко і мав радше фрагментарний характер, що вказує на ситуативність етичних міркувань студентів на початковому етапі навчання.

У другому раунді оцінювання спостерігається загальний зсув профілю відповідей у бік більш етично обґрунтованих рішень (Рис. 3.2). Для більшості сценаріїв зростає частка відповідей, що відповідають просунутому рівню готовності до професійної діяльності (Рис. 3.3), водночас зменшується частка виборів, які відображають етично мінімальну або недостатньо продуману позицію. Зазначені зміни мають узагальнений характер і простежуються у всіх тематичних блоках інструменту, хоча їх інтенсивність відрізняється залежно від конкретного змісту ситуації.

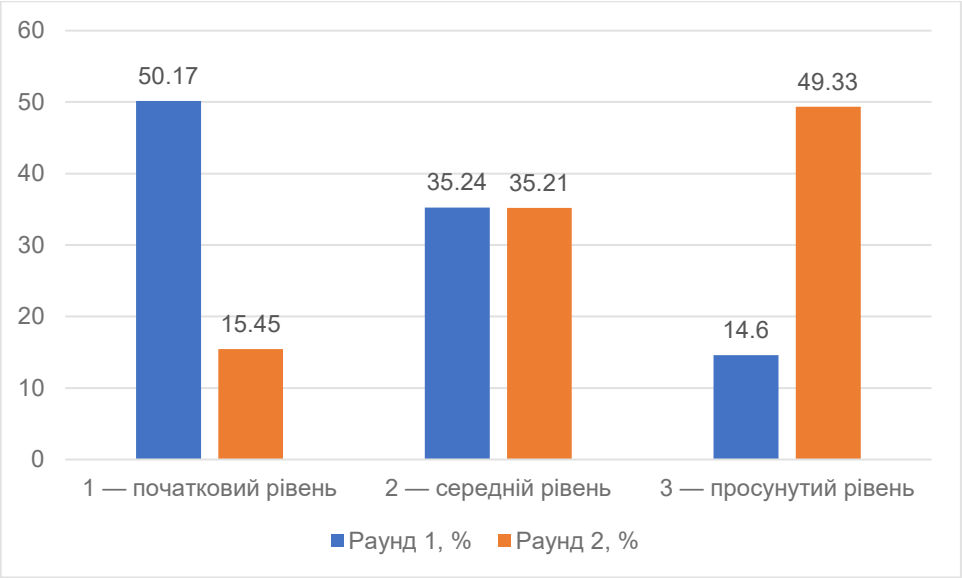

Рис. 3.2. Розподіл відповідей за рівнями сформованості готовності до професійної діяльності у двох раундах оцінювання, %

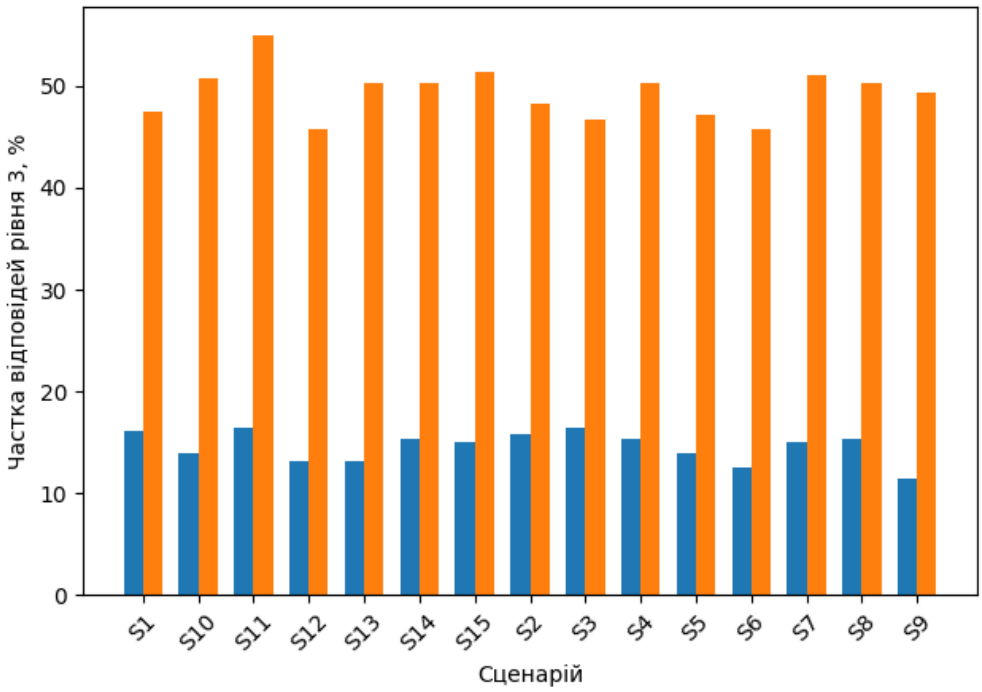

Рис. 3.3. Розподіл відповідей просунутого рівня сформованості готовності до професійної діяльності за сценаріями у двох раундах

Наступним кроком описового аналізу стало узагальнення результатів на рівні п’яти компонентів етичної відповідальності, кожен з яких представлений трьома сценаріями. Такий рівень аналізу дозволяє перейти від окремих ситуацій до більш стійких тематичних блоків і оцінити загальний профіль етичних міркувань студентів.

Для кожного компонента у кожному раунді обчислювалися медіана сумарного балу, міжквартильний розмах, а також мінімальні та максимальні значення. Використання медіанних показників зумовлене порядковим характером вихідної шкали та дискретністю можливих значень.

Результати першого раунду (Табл. 3.3) засвідчують відносно близькі значення медіан між різними компонентами, що зумовлено обмеженим діапазоном шкали та однаковою кількістю сценаріїв у кожному блоці. Водночас аналіз варіативності (міжквартильний розмах) вказує на різний ступінь розкиду відповідей, що свідчить про неоднакову сформованість окремих аспектів етичної відповідальності на початковому етапі навчання.

Таблиця 3.3

Описові статистики компонентів етичної відповідальності (Раунд 1)

Компонент	Медіана	IQR	Мін
Компонент 1	5.0	2.0	3
Компонент 2	5.0	2.0	3
Компонент 3	5.0	2.0	3
Компонент 4	5.0	2.0	3
Компонент 5	5.0	2.0	3

Медіанні значення всіх компонентів зосереджені в центральній частині шкали (діапазон 3–9), що вказує на переважання проміжного рівня етичної аргументації. Однаковий міжквартильний розмах свідчить про порівнянну варіативність, водночас відмінності у мінімальних і максимальних значеннях вказують на неоднорідність індивідуальних профілів

У другому раунді оцінювання (Табл. 3.4) спостерігається зсув медіан у бік вищих значень для всіх компонентів. Поряд із цим, міжкомпонентні відмінності зберігаються, що вказує на нерівномірний характер розвитку різних складових етичної відповідальності. Таким чином, навіть за наявності загальної позитивної динаміки, окремі компоненти залишаються більш вимогливими до етичної рефлексії та аргументації.

У другому раунді спостерігається зсув медіанних значень у бік вищих рівнів етичної відповідальності для всіх компонентів. За збереження

співставної варіативності (IQR=2) профілі відповідей стають більш зосередженими у верхній частині шкали, що свідчить про узагальнену позитивну динаміку етичних міркувань

Таблиця 3.4

Описові статистики компонентів етичної відповідальності (Раунд 2)

Компонент	Медіана	IQR	Мін
Компонент 1	7.0	2.0	4
Компонент 2	7.0	2.0	3
Компонент 3	7.0	2.0	3
Компонент 4	7.0	2.0	3
Компонент 5	7.0	2.0	3

Слід зазначити, що близькі значення медіан та міжквартильного розмаху для різних компонентів зумовлені дискретною структурою шкали та симетричним конструюванням інструменту, а не відсутністю варіативності у відповідях. За таких умов описові статистики відображають загальний профіль відповідей, тоді як більш тонкі відмінності між компонентами та динаміка змін аналізуються на рівні латентних параметрів у межах моделей теорії відповіді на завдання.

Отримані результати підтверджують доцільність подальшого аналізу на рівні окремих сценаріїв, а також обґрунтовують необхідність застосування моделей латентного вимірювання для коректного врахування відмінностей у складності завдань і рівнях етичної відповідальності респондентів.

Після узагальненого аналізу розподілів відповідей та результатів на рівні компонентів доцільним є розгляд результатів на рівні окремих сценаріїв, оскільки саме цей рівень дозволяє виявити контекстну чутливість етичних міркувань і неоднорідність відповідей залежно від змісту професійної ситуації.

Для кожного сценарію окремо у кожному раунді оцінювання було обчислено описові статистики, зокрема медіану, міжквартильний розмах, а також частку відповідей, що відповідали високому рівню етичної

відповідальності. Використання медіанних показників зумовлене порядковим характером шкали та обмеженою кількістю категорій відповіді.

Результати першого раунду оцінювання (Табл. 3.5) свідчать про суттєву варіативність відповідей між сценаріями. Для частини ситуацій медіанні значення відповідей перебували на нижньому або проміжному рівні, а частка відповідей високого рівня залишалася низькою. Це вказує на те, що на початковому етапі навчання етичні міркування студентів мають переважно ситуативний характер і значною мірою залежать від конкретного контексту запропонованої ситуації. Окремі сценарії виявляються більш складними для етичної аргументації, що проявляється у ширшому розкиді відповідей та меншій частці етично обґрунтованих рішень.

Таблиця 3.5

Описові характеристики окремих сценаріїв (Раунд 1)

Сценарій	Медіана	IQR	% відповідей рівня 3
S1	2	1	16.1
S2	1	1	15.7
S3	2	1	16.4
S4	2	1	15.4
S5	2	1	13.9
S6	1	1	12.5
S7	1	1	15.0
S8	2	1	15.4
S9	1	1	11.4
S10	2	1	13.9
S11	1	1	16.4
S12	1	1	13.2
S13	1	1	13.2
S14	1	1	15.4
S15	1	1	15.0

У другому раунді оцінювання (Табл. 3.6) загальний профіль відповідей за більшістю сценаріїв зміщується у бік просунутого рівня готовності до професійної діяльності. Водночас міжсценарні відмінності не зникають повністю: навіть за наявності позитивної динаміки окремі ситуації

продовжують вимагати більшого рівня етичної рефлексії, що відображається у збереженні варіативності відповідей та різній частці виборів високого рівня.

Таблиця 3.6

Описові характеристики окремих сценаріїв (Раунд 2)

Сценарій	Медіана	IQR	% відповідей рівня 3
S1	2	1	47.5
S2	2	1	48.2
S3	2	1	46.8
S4	3	1	50.4
S5	2	1	47.1
S6	2	1	45.7
S7	3	1	51.1
S8	3	1	50.4
S9	2	1	49.3
S10	3	1	50.7
S11	3	1	55.0
S12	2	1	45.7
S13	3	1	50.4
S14	3	1	50.4
S15	3	1	51.4

Таким чином, аналіз на рівні окремих сценаріїв підтверджує, що етична відповідальність не формується як однорідна навичка, а проявляється як контекстно зумовлена здатність, чутлива до типу професійної ситуації. Саме ця міжсценарна неоднорідність створює передумови для подальшого порівняльного аналізу динаміки відповідей у двох раундах та обґрунтовує застосування моделей латентного вимірювання, які дозволяють коректно врахувати різну «вимогливість» сценаріїв.

Для більш детального аналізу змін у структурі відповідей було здійснено порівняльний опис показників за окремими сценаріями у двох раундах оцінювання. З цією метою використано описові індикатори, що відображають загальну тенденцію відповідей (середні значення) та частоту вибору етично найбільш обґрунтованої позиції (частка відповідей рівня 3).

Результати порівняльного аналізу наведено у Таблиці 3.7. Як видно з таблиці, у першому раунді середні значення відповідей для всіх сценаріїв перебували у вузькому діапазоні та відповідали переважанню низького або проміжного рівнів етичної відповідальності. У другому раунді для всіх сценаріїв спостерігається зсув середніх значень у бік вищих рівнів, при цьому абсолютна величина зсуву є співставною для різних ситуацій.

Таблиця 3.7

Описові характеристики відповідей за окремими сценаріями у двох раундах оцінювання

Сценарій	Середнє значення (Раунд 1)	Середнє значення (Раунд 2)	Абсолютний зсув середнього (Δ)	Частка відповідей рівня 3, %, Раунд 1	Частка відповідей рівня 3, %, Раунд 2
Scenario_1	1,68	2,32	0,65	16,1	47,5
Scenario_2	1,65	2,33	0,68	15,7	48,2
Scenario_3	1,67	2,33	0,66	16,4	46,8
Scenario_4	1,70	2,33	0,62	15,4	50,4
Scenario_5	1,65	2,30	0,65	13,9	47,1
Scenario_6	1,61	2,26	0,66	12,5	45,7
Scenario_7	1,63	2,35	0,72	15,0	51,1
Scenario_8	1,70	2,38	0,68	15,4	50,4
Scenario_9	1,59	2,33	0,74	11,4	49,3
Scenario_10	1,66	2,37	0,71	13,9	50,7
Scenario_11	1,66	2,43	0,77	16,4	55,0
Scenario_12	1,60	2,29	0,69	13,2	45,7
Scenario_13	1,59	2,35	0,76	13,2	50,4
Scenario_14	1,63	2,32	0,69	15,4	50,4
Scenario_15	1,64	2,39	0,75	15,0	51,4

Показники «середнє значення» наведено з описовою метою (як індикатор загальної тенденції відповідей) з урахуванням того, що вихідна шкала має порядковий характер (1–3). Відповіді рівня 3 інтерпретуються як вибір позиції, що відповідає найвищому рівню етичної відповідальності у межах сценарію.

Додатково узгодженість змін підтверджується різким зростанням частки відповідей просунутого рівня. Якщо у першому раунді такі відповіді мали

фрагментарний характер і не перевищували 16 % для окремих сценаріїв, то у другому раунді їх частка зростає до 45–55 %. Важливо, що позитивна динаміка спостерігається для всіх сценаріїв без винятку, що зменшує ймовірність того, що зафіксовані зміни зумовлені особливостями окремих завдань.

Візуальний аналіз підтверджує результати табличного опису та наочно демонструє перехід від домінування відповідей низького рівня у першому раунді до зростання частки етично обґрунтованих рішень у другому.

Описові результати, отримані у двох раундах сценарного оцінювання, дозволяють зробити низку узагальнених висновків щодо характеру етичних міркувань студентів та особливостей їх динаміки у процесі навчання. Важливо підкреслити, що інтерпретація наведених у підрозділі 3.2 результатів має описовий характер і не спрямована на встановлення прямої причинно-наслідкової залежності між навчальним втручанням і змінами у відповідях студентів.

Агрегований аналіз розподілів відповідей за рівнями етичної відповідальності засвідчив суттєву трансформацію їх структури між першим і другим раундами оцінювання. Якщо на початковому етапі домінували відповіді, що відповідали початковому та середньому рівням етичної відповідальності, то наприкінці навчального року спостерігається зростання частки етично обґрунтованих рішень. Така зміна профілю відповідей має узагальнений характер і простежується для всієї вибірки, що свідчить про поступове переосмислення етичних позицій у контексті професійних ситуацій.

Водночас відносна стабільність частки проміжних відповідей у двох раундах вказує на те, що розвиток етичної відповідальності не зводиться до механічного «зсуву» всіх відповідей у бік максимальних значень. Натомість спостерігається диференційований процес, у межах якого крайні позиції (етично мінімальні та етично обґрунтовані) поступово переглядаються, тоді як проміжні рішення зберігають свою роль як перехідні або умовні.

Аналіз результатів на рівні компонентів етичної відповідальності дозволив виявити як спільні риси, так і відмінності між окремими

тематичними блоками інструменту. Попри близькі значення медіан у першому раунді, що зумовлено дискретністю шкали та обмеженою кількістю сценаріїв у кожному компоненті, показники варіативності засвідчують нерівномірність сформованості різних аспектів етичної відповідальності.

У другому раунді всі компоненти демонструють зсув у бік вищих рівнів, однак міжкомпонентні відмінності зберігаються. Це дає підстави припустити, що окремі аспекти етичної відповідальності розвиваються з різною інтенсивністю та можуть вимагати різних освітніх стратегій для їх подальшого поглиблення. Такий висновок узгоджується з уявленням про етичну відповідальність як багатовимірний конструкт, а не як однорідну рису.

Розгляд результатів на рівні окремих сценаріїв підтвердив контекстну зумовленість етичних міркувань студентів. Навіть за наявності загальної позитивної динаміки, окремі професійні ситуації залишаються більш складними з точки зору етичної аргументації, що проявляється у збереженні міжсценарної варіативності відповідей у другому раунді.

Отримані результати свідчать про те, що етична відповідальність формується не як універсальна «правильна відповідь», а як здатність адаптувати етичні міркування до конкретних умов і обмежень ситуації. Саме ця особливість пояснює, чому агреговані показники можуть демонструвати узагальнену позитивну динаміку, тоді як на рівні окремих сценаріїв зберігається диференціація.

Попри інформативність описових статистик, їх аналітичні можливості є обмеженими у контексті сценарного порядкового інструменту. Сумарні бали, медіани або середні значення не дозволяють відокремити внесок індивідуального рівня етичної відповідальності студентів від властивостей самих сценаріїв, зокрема їх відносної складності або вимогливості до етичної рефлексії.

Крім того, використання паралельних, але не ідентичних форм інструменту у двох раундах ускладнює пряме порівняння результатів на основі класичних підходів. За таких умов описовий аналіз доцільно розглядати як

попередній етап, що дозволяй виявити загальні тенденції та проблемні зони, але не забезпечує повної метричної еквівалентності результатів.

З огляду на це, подальший аналіз у роботі здійснюється з використанням моделей теорії відповіді на завдання, які дозволяють оцінити латентний рівень етичної відповідальності, врахувати відмінності між сценаріями та розмістити результати двох раундів у спільній метричній шкалі.

Описові результати засвідчили наявність узагальненої позитивної динаміки у структурі відповідей студентів, а також збереження міжсценарної та міжкомпонентної неоднорідності етичних міркувань. Водночас можливості описової статистики є обмеженими для коректної інтерпретації таких змін у разі використання порядкових шкал, сценарних інструментів і паралельних форм оцінювання.

По-перше, агреговані показники (медіани, середні значення, частки відповідей окремих рівнів) не дозволяють відокремити рівень етичної відповідальності респондентів від властивостей самих сценаріїв, зокрема їх відносної вимогливості до етичної рефлексії. По-друге, застосування двох концептуально паралельних, але не ідентичних форм інструменту у двох раундах ускладнює пряме порівняння результатів у межах класичних підходів до аналізу тестових даних. За таких умов порівняння сумарних балів або сирих показників може призводити до методичних спотворень.

З огляду на зазначене, для подальшого аналізу результатів у роботі було застосовано моделі теорії відповіді на завдання (Item Response Theory, IRT), зокрема модель часткового кредиту (Partial Credit Model, PCM), яка є узагальненням Rasch-моделі для завдань з упорядкованими категоріями відповіді. Обрана модель є методично адекватною з огляду на порядковий характер шкали (три категорії відповіді) та сценарний формат інструменту.

Використання Rasch-підходу дозволяє розглядати етичну відповідальність як латентну змінну, що не спостерігається безпосередньо, але проявляється через ймовірність вибору певних відповідей у конкретних сценаріях. У межах цієї моделі рівень етичної відповідальності кожного

студента та параметри сценаріїв оцінюються незалежно один від одного і розміщуються в єдиній метричній шкалі (логіт-шкалі). Такий підхід забезпечує інваріантність оцінювання відносно конкретного набору завдань і вибірки респондентів у межах заданої моделі.

Особливістю даного дослідження є дизайн «common-person», за якого ті самі респонденти брали участь у двох раундах оцінювання. Це створює можливість еквівалентування результатів двох паралельних форм інструменту та їх порівняння у спільній латентній шкалі без прямого зіставлення сирих балів. Таким чином, Rasch-аналіз у цій роботі використовується не лише як інструмент психометричної перевірки, а як засіб коректного аналізу навчальної динаміки етичної відповідальності.

У наступних підрозділах представлено результати перевірки відповідності отриманих даних Rasch-моделі, аналіз параметрів сценаріїв і респондентів, а також інтерпретацію змін латентного рівня етичної відповідальності між двома раундами оцінювання.

Перед інтерпретацією параметрів складності сценаріїв та латентного рівня етичної відповідальності було здійснено перевірку відповідності отриманих емпіричних даних обраній Rasch-моделі. Така перевірка є необхідною умовою коректного застосування моделей теорії відповіді на завдання, оскільки дозволяє оцінити, наскільки спостережувані відповіді узгоджуються з припущеннями моделі та чи можуть подальші інтерпретації вважатися методично обґрунтованими.

Адекватність моделі оцінювалася за стандартними показниками відповідності завдань (item fit), зокрема за індексами Infit mean square (Infit MNSQ) та Outfit mean square (Outfit MNSQ), а також за кореляціями типу *пункт–міра* (PTMEA corr.). Infit-індекс є більш чутливим до типових відповідей респондентів, тоді як Outfit-індекс реагує на поодинокі нетипові або екстремальні відповіді. Значення PTMEA corr. дозволяють оцінити напрям і силу зв’язку між відповідями на окремі сценарії та оціненим латентним рівнем етичної відповідальності.

Результати перевірки відповідності сценаріїв Rasch-моделі наведено у Таблиці 3.8. Аналіз показує, що для всіх сценаріїв в обох раундах оцінювання значення Infit та Outfit MNSQ перебувають у допустимих межах, рекомендованих для прикладних освітніх досліджень. Це свідчить про відсутність сценаріїв, які б демонстрували надмірну випадковість відповідей або, навпаки, аномально високу передбачуваність.

Таблиця 3.8

Відповідність сценаріїв Rasch-моделі

Сценарій	Оцінка складності β (логіти)	SE(β)	Infit MNSQ	Infit ZSTD	Outfit MNSQ	Outfit ZSTD	PTMEA corr	Коментар
Scenario_1	-0,07303	0,087987	1,006524	0,076889	1,001312	0,015485	0,230682	В межах норми
Scenario_2	-0,03904	0,088173	0,96744	-0,3888 2	0,959602	-0,48372	0,295379	В межах норми
Scenario_3	-0,07592	0,087188	1,008307	0,0978 4	1,025456	0,298141	0,21947	В межах норми
Scenario_4	-0,09483	0,090269	0,993065	-0,0820 9	0,981271	-0,22261	0,261615	В межах норми
Scenario_5	0,007656	0,092117	0,978523	-0,2555	0,951537	-0,5819	0,278166	В межах норми
Scenario_6	0,099581	0,094932	0,944095	-0,6729 9	0,925984	-0,89671	0,337798	В межах норми
Scenario_7	0,002899	0,08919	1,004567	0,053856	0,995492	-0,05332	0,224027	В межах норми
Scenario_8	-0,08537	0,090061	0,959845	-0,4807 6	0,946831	-0,63945	0,33039	В межах норми
Scenario_9	0,151	0,097937	0,965383	-0,4136 7	0,944944	-0,66258	0,291398	В межах норми
Scenario_10	-0,00127	0,092297	0,991534	-0,1002 8	0,985645	-0,17037	0,257277	В межах норми
Scenario_11	-0,0585	0,086831	1,016521	0,194064	1,006318	0,07446	0,213056	В межах норми
Scenario_12	0,082795	0,092876	0,989174	-0,1283 3	1,006174	0,072771	0,235572	В межах норми
Scenario_13	0,09517	0,09265	0,966993	-0,3942 1	0,950655	-0,59268	0,287652	В межах норми
Scenario_14	-0,00124	0,088335	0,976916	-0,2747 7	0,981191	-0,22356	0,269026	В межах норми
Scenario_15	-0,0099	0,089441	0,953529	-0,5576	0,936698	-0,76401	0,302763	В межах норми

Крім того, для всіх сценаріїв зафіксовано позитивні значення кореляцій типу пункт–міра, що вказує на узгодженість їх функціонування з вимірюваною

латентною змінною. Іншими словами, зі зростанням латентного рівня етичної відповідальності зростає ймовірність вибору вищих категорій відповіді для кожного сценарію, що відповідає теоретичній логіці інструменту.

Таким чином, результати аналізу відповідності підтверджують, що всі сценарії функціонують узгоджено в межах обраної моделі часткового кредиту і не потребують вилучення або модифікації. Отримані показники дозволяють вважати Rasch-модель адекватною для подальшого аналізу параметрів складності сценаріїв, латентних рівнів респондентів та динаміки етичної відповідальності між двома раундами оцінювання.

Після підтвердження відповідності емпіричних даних обраній Rasch-моделі наступним кроком є аналіз параметрів складності сценаріїв, оцінених у межах моделі часткового кредиту. У Rasch-підході параметр складності сценарію (β) відображає відносний рівень латентної етичної відповідальності, необхідний для того, щоб респондент із більшою ймовірністю обирав вищі категорії відповіді у відповідній ситуації.

Оцінені параметри складності сценаріїв та їх стандартні похибки наведено у Таблиці 3.9. Отримані значення β розміщено в логіт-шкалі та впорядковано за зростанням, що дозволяє здійснити порівняльний аналіз сценаріїв за їх відносною «вимогливістю» до етичної рефлексії. Важливо підкреслити, що ці значення мають інтерпретуватися не як абсолютні характеристики складності, а як позиції сценаріїв у спільному латентному континуумі.

Результати аналізу свідчать про наявність диференціації сценаріїв за параметром складності. Це означає, що інструмент охоплює ситуації, які вимагають різного рівня етичної відповідальності для вибору найбільш обґрунтованих рішень. Така диференціація є методично бажаною, оскільки вона забезпечує чутливість інструменту до варіативності латентного рівня етичної відповідальності серед респондентів.

Разом із тим, стандартні похибки оцінювання параметрів складності мають помірні значення, що свідчить про достатню стабільність оцінок у

межах наявної вибірки. Відсутність надмірно великих похибок або крайніх значень параметрів підтверджує, що жоден зі сценаріїв не виходить за межі робочого діапазону інструменту і не створює методичних перекосів у вимірюванні.

Таблиця 3.9

Параметри складності сценаріїв та їх стандартні похибки

Сценарій	Оцінка складності β (логіти)	SE(β)
Scenario_11 (R2)	-0,20542	0,096476
Scenario_15 (R2)	-0,13343	0,095154
Scenario_8 (R2)	-0,1058	0,094445
Scenario_4	-0,09483	0,090269
Scenario_8	-0,08537	0,090061
Scenario_3	-0,07592	0,087188
Scenario_1	-0,07303	0,087987
Scenario_10 (R2)	-0,06765	0,091784
Scenario_11	-0,0585	0,086831
Scenario_2	-0,03904	0,088173
Scenario_3 (R2)	-0,01924	0,092728
Scenario_13 (R2)	-0,0114	0,088893
Scenario_15	-0,0099	0,089441
Scenario_7 (R2)	-0,00763	0,088055
Scenario_10	-0,00127	0,092297
Scenario_14	-0,00124	0,088335
Scenario_2 (R2)	0,002193	0,090107
Scenario_7	0,002899	0,08919
Scenario_5	0,007656	0,092117
Scenario_1 (R2)	0,023674	0,089594
Scenario_9 (R2)	0,025849	0,087831
Scenario_4 (R2)	0,069474	0,084665
Scenario_5 (R2)	0,07577	0,087162
Scenario_12	0,082795	0,092876
Scenario_14 (R2)	0,09063	0,083634
Scenario_12 (R2)	0,094091	0,087557
Scenario_13	0,09517	0,09265
Scenario_6	0,099581	0,094932
Scenario_9	0,151	0,097937
Scenario_6 (R2)	0,168881	0,083925

Таким чином, аналіз параметрів складності сценаріїв показує, що сценарний інструмент є внутрішньо диференційованим і здатним відображати різні рівні латентної етичної відповідальності. Отримані результати створюють підґрунтя для подальшого аналізу розміщення респондентів у

латентній шкалі та інтерпретації динаміки їхніх показників між двома раундами оцінювання.

Після аналізу параметрів складності сценаріїв доцільним є розгляд розміщення респондентів у латентній шкалі етичної відповідальності, оціненої за Rasch-моделлю. У межах моделі часткового кредиту кожному студентові відповідає оцінка латентного параметра θ, яка відображає його відносне положення в континуумі етичної відповідальності незалежно від конкретного набору сценаріїв.

Представлено карту розміщення респондентів і сценаріїв (person–item map) у спільній логіт-шкалі (Рис. 3.4). Розподіл параметрів складності сценаріїв перекриває основний діапазон латентних рівнів респондентів, що свідчить про адекватну відповідність інструменту характеристикам вибірки. Така відповідність є необхідною умовою коректного вимірювання, оскільки забезпечує чутливість інструменту до відмінностей між студентами з різним рівнем етичної відповідальності.

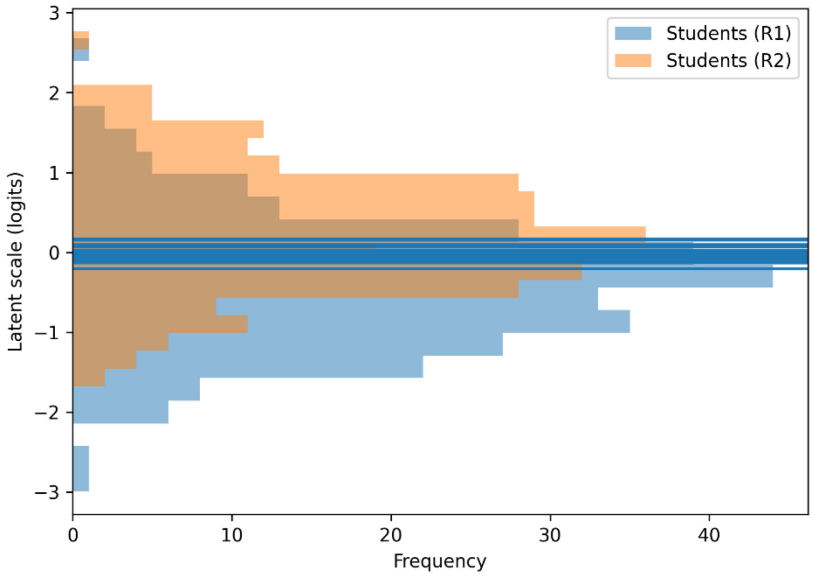

Рис. 3.4. Карта розміщення респондентів і сценаріїв (person–item map) у спільній логіт-шкалі

Порівняння розподілів латентного параметра θ у двох раундах оцінювання (Рис. 3.5) демонструє загальний зсув розподілу у бік вищих значень у другому раунді. При цьому зміни мають не локальний, а

узагальнений характер і стосуються всієї сукупності респондентів, а не окремих підгруп або одиничних випадків. Важливо зазначити, що аналіз здійснюється на рівні латентної шкали, що дозволяє уникнути прямого зіставлення сирих балів і пов'язаних із цим методичних обмежень.

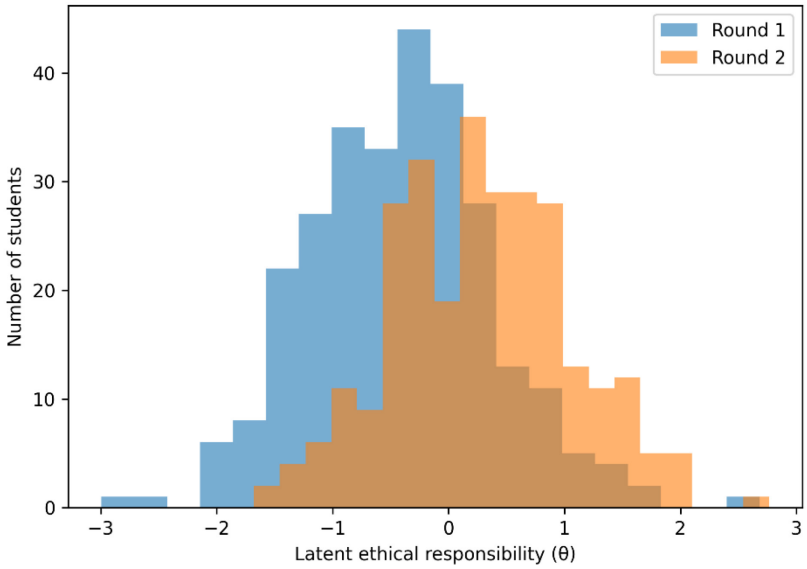

Рис. 3.5. Порівняння розподілів латентного параметра θ у двох раундах оцінювання

Водночас спостерігається збереження варіативності латентних рівнів у межах кожного раунду. Це свідчить про те, що навіть за наявності загальної позитивної динаміки студенти залишаються неоднорідними за рівнем етичної відповідальності, а сформованість етичної рефлексії не набуває одноманітного характеру. Така варіативність є очікуваною для реального освітнього процесу та підтверджує відсутність ефекту штучного "вирівнювання" результатів.

Таким чином, аналіз латентного рівня етичної відповідальності респондентів за Rasch-моделлю дозволяє зафіксувати узагальнену динаміку показників між двома раундами оцінювання та водночас зберегти чутливість до індивідуальних відмінностей. Отримані результати створюють основу для подальшого узагальнення характеристик вимірювальної якості інструменту та аналізу структурних властивостей компонентів етичної відповідальності.

Для узагальненої оцінки розрізнювальної здатності та надійності Rasch-моделі було проаналізовано відповідні показники для сценаріїв і респондентів (Табл. 3.10).

Таблиця 3.10

Узагальнена оцінка розрізнювальної здатності та надійності Rasch-моделі

Показник	Значення
Item separation index	2,85
Item reliability	0,89
Person separation index	2,1
Person reliability	0,82

Застосування моделі часткового кредиту в межах теорії відповіді на завдання дозволило здійснити багаторівневий аналіз результатів сценарного оцінювання етичної відповідальності з урахуванням порядкового характеру шкали та дизайну дослідження з паралельними формами інструменту. Отримані результати підтверджують методичну доцільність використання Rasch-підходу для аналізу таких даних у прикладних освітніх дослідженнях.

Перевірка відповідності емпіричних даних Rasch-моделі засвідчила узгоджене функціонування всіх сценаріїв у межах вимірювальної шкали. Відсутність сценаріїв з неприйнятними показниками відповідності та позитивні кореляції типу пункт–міра підтверджують внутрішню узгодженість інструменту та коректність інтерпретації параметрів моделі. Це створює надійну основу для подальшого аналізу як властивостей завдань, так і характеристик респондентів.

Аналіз параметрів складності сценаріїв показав, що інструмент є диференційованим за рівнем вимогливості до етичної рефлексії. Наявність сценаріїв з різними значеннями параметра складності забезпечує чутливість інструменту до варіативності латентного рівня етичної відповідальності та запобігає звуженню вимірювального діапазону. Водночас отримані стандартні похибки параметрів свідчать про стабільність оцінювання в межах досліджуваної вибірки.

Розміщення респондентів у латентній шкалі та порівняння розподілів параметра θ у двох раундах оцінювання дозволили зафіксувати узагальнену динаміку латентного рівня етичної відповідальності. Важливо, що ця динаміка описується без прямого зіставлення сирих балів і не залежить від конкретних формулювань сценаріїв, що мінімізує ризик методичних спотворень, пов'язаних із використанням паралельних форм інструменту.

Таким чином, результати Rasch-аналізу підтверджують, що сценарний інструмент є психометрично придатним для оцінювання готовності до професійної діяльності на засадах етичної відповідальності в умовах реального освітнього процесу, а отримані латентні показники можуть використовуватися для подальшого аналізу внутрішньої структури етичної відповідальності та взаємозв'язків між її компонентами. Зазначені висновки створюють підґрунтя для наступного етапу аналізу, присвяченого оцінюванню внутрішньої узгодженості компонентів інструменту та дослідженню кореляційних зв'язків між ними.

Для оцінювання внутрішньої узгодженості компонентів сценарного інструменту етичної відповідальності було застосовано ординальні показники надійності. Аналіз проводився окремо для кожного з п'яти компонентів інструменту, а також для інтегрального показника, що охоплює всі 15 сценаріїв. Розрахунки виконувалися незалежно для першого та другого раундів оцінювання.

З урахуванням порядкового характеру даних та триточкової шкали відповідей, для оцінювання внутрішньої узгодженості використовувалися коефіцієнт Кронбаха (Cronbach's α) та коефіцієнт ω Макдональда (McDonald's ω). Застосування двох показників дозволило зіставити класичну оцінку узгодженості з більш гнучким показником, який менш чутливий до порушень припущення тау-еквівалентності та краще відображає реальну структуру шкал у прикладних освітніх дослідженнях.

Результати оцінювання внутрішньої узгодженості компонентів інструменту наведено в таблиці 3.11**.** Як видно з наведених даних, значення

коефіцієнтів α та ω варіюють залежно від компонента та раунду оцінювання. Для окремих компонентів спостерігаються помірні або знижені значення коефіцієнтів, що є очікуваним для сценарних інструментів, у яких окремі завдання відображають різні ситуаційні аспекти етичної відповідальності, а не взаємозамінні пункти однорідної шкали.

Водночас інтегральний показник, що об'єднує всі 15 сценаріїв, демонструє вищі значення показників внутрішньої узгодженості в обох раундах оцінювання (Табл. 3.11). Це свідчить про те, що на рівні узагальненого вимірювання сценарний інструмент функціонує як цілісна система, здатна надійно відображати латентний рівень етичної відповідальності.

Таблиця 3.11

Оцінювання внутрішньої узгодженості компонентів інструменту

Шкала/компонент	Раунд	Cronbach's α	McDonald's ω (1-factor approx.)	k (кількість сценаріїв)
Екологічна етика	Раунд 1	-0,17	0,038	3
Відповідальність за інновації	Раунд 1	-0,045	0,174	3
Прозорість і відкритість	Раунд 1	0,075	0,617	3
Запобігання шкоді (dual-use)	Раунд 1	-0,08	0,082	3
Справедливість та інклюзія	Раунд 1	0,14	0,63	3
Екологічна етика	Раунд 2	-0,104	0,001	3
Відповідальність за інновації	Раунд 2	0,094	0,451	3
Прозорість і відкритість	Раунд 2	0,078	0,462	3
Запобігання шкоді (dual-use)	Раунд 2	0,114	0,607	3
Справедливість та інклюзія	Раунд 2	-0,162	0,053	3
Загальний показник (15 сценаріїв)	Раунд 1	0,09	0,024	15
Загальний показник (15 сценаріїв)	Раунд 2	0	0,151	15

Слід підкреслити, що показники внутрішньої узгодженості в даному дослідженні розглядаються не як єдиний критерій якості інструменту, а як допоміжний аналітичний засіб. Основним вимірювальним підходом у роботі є моделі теорії відповіді на завдання, які не вимагають високої міжпунктової

кореляції та дозволяють коректно працювати з гетерогенними сценаріями. У цьому контексті отримані значення коефіцієнтів α та ω не суперечать результатам Rasch-аналізу, а доповнюють їх, уточнюючи особливості структури компонентів етичної відповідальності.

Таким чином, результати аналізу внутрішньої узгодженості підтверджують методичну придатність сценарного інструменту для використання в дослідженні, а також обґрунтовують подальший аналіз структурних зв'язків між компонентами етичної відповідальності.

Для дослідження внутрішньої структури етичної відповідальності було проведено кореляційний аналіз між п'ятьма компонентами сценарного інструменту. Аналіз здійснювався окремо для першого та другого раундів оцінювання з використанням коефіцієнта кореляції Спірмена (ρ), що є доцільним для порядкових даних та не вимагає припущення нормальності розподілів.

Результати кореляційного аналізу для першого раунду наведено в Таблиці 3.12**.**

Таблиця 3.12

Кореляційного аналізу для першого раунду з використанням коефіцієнта кореляції Спірмена (ρ)

Компонент 1	Компонент 2	ρ Спірмена	p
Екологічна етика	Відповідальність за інновації	0,073	0.221
Екологічна етика	Прозорість і відкритість	0,049	0.411
Екологічна етика	Запобігання шкоді (dual-use)	-0,013	0.823
Екологічна етика	Справедливість та інклюзія	-0,029	0.626
Відповідальність за інновації	Прозорість і відкритість	0,015	0.806
Відповідальність за інновації	Запобігання шкоді (dual-use)	0,074	0.214
Відповідальність за інновації	Справедливість та інклюзія	0,103	0.086
Прозорість і відкритість	Запобігання шкоді (dual-use)	0,02	0.735
Прозорість і відкритість	Справедливість та інклюзія	0,009	0.878
Запобігання шкоді (dual-use)	Справедливість та інклюзія	-0,03	0.617

Отримані коефіцієнти кореляції мають переважно низькі або помірні значення, що свідчить про відносну автономність окремих компонентів етичної відповідальності на початковому етапі навчання. Така структура кореляційних зв'язків відображає фрагментарний характер етичних міркувань,

коли рішення в одній тематичній площині не обов’язково узгоджуються з позиціями в інших етичних вимірах.

У другому раунді оцінювання спостерігається певна зміна кореляційного профілю між компонентами (Табл. 3.13). Зокрема, для окремих пар компонентів зростає сила кореляційних зв’язків, що може свідчити про формування більш узгодженої системи етичних міркувань. При цьому кореляції не досягають надмірно високих значень, що вказує на збереження змістової диференціації компонентів і відсутність їх редукції до одного узагальненого чинника.

Таблиця 3.13

Кореляційний аналіз для другого раунду з використанням коефіцієнта кореляції Спірмена (ρ)

Компонент 1	Компонент 2	ρ Спірмена	p
Екологічна етика	Відповідальність за інновації	-0,06	0.315
Екологічна етика	Прозорість і відкритість	0,014	0.812
Екологічна етика	Запобігання шкоді (dual-use)	-0,079	0.189
Екологічна етика	Справедливість та інклюзія	-0,097	0.104
Відповідальність за інновації	Прозорість і відкритість	0,003	0.966
Відповідальність за інновації	Запобігання шкоді (dual-use)	0,034	0.575
Відповідальність за інновації	Справедливість та інклюзія	0,011	0.849
Прозорість і відкритість	Запобігання шкоді (dual-use)	0,016	0.794
Прозорість і відкритість	Справедливість та інклюзія	0,044	0.462
Запобігання шкоді (dual-use)	Справедливість та інклюзія	-0,003	0.964

Для наочного подання структурних зв’язків між компонентами етичної відповідальності кореляційні матриці першого та другого раундів також представлено у вигляді теплових карт (Рис. 3.6), що підтверджує результати табличного аналізу (Табл. 3.12–3.13). Важливо підкреслити, що отримані кореляційні зв’язки інтерпретуються не як причинні залежності між компонентами, а як індикатори структурної взаємопов’язаності етичної відповідальності. Зміни в кореляційних патернах між раундами оцінювання розглядаються в контексті навчальної динаміки та розширення репертуару етичних міркувань, а не як прямий результат окремих освітніх впливів.

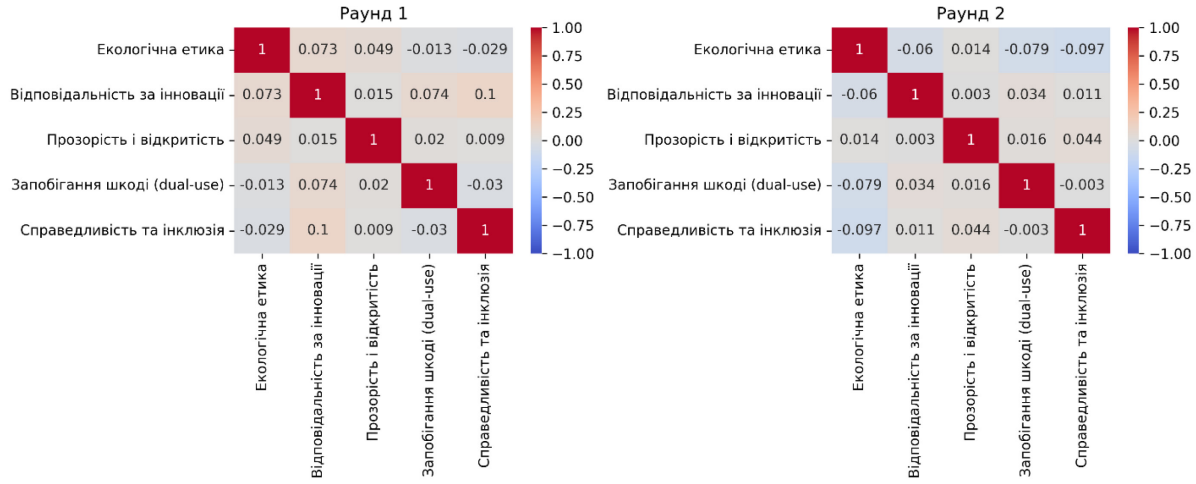

Рис. 3.6. Кореляційні зв’язки між компонентами етичної відповідальності у першому та другому раундах оцінювання

Таким чином, кореляційний аналіз підтверджує, що етична відповідальність у межах сценарного інструменту має багатовимірну структуру, компоненти якої є взаємопов’язаними, але не злитими між собою. Отримані результати доповнюють висновки Rasch-аналізу та оцінки внутрішньої узгодженості, формуючи цілісне уявлення про структурні властивості досліджуваного конструкту.

Отримані результати мають значення не лише для оцінювання етичної відповідальності як окремого досліджуваного конструкту, а й для підтвердження її інтегрувальної функції у структурі готовності до професійної діяльності. Динаміка відповідей здобувачів освіти засвідчила, що розвиток етичної відповідальності пов’язаний із трьома компонентами готовності: когнітивним – через здатність усвідомлювати й аналізувати етичні та безпекові аспекти професійних ситуацій; практико-операційним – через вибір відповідальних способів дії в умовах професійної невизначеності; мотиваційно-ціннісним – через готовність брати до уваги соціальні, екологічні та моральні наслідки професійних рішень. Отже, етична відповідальність у межах розробленої моделі виконує функцію зв’язувальної ланки між знаннями, діями та ціннісними орієнтаціями майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Узагальнений результат сформованості готовності до професійної діяльності подано у таблиці 3.14.

Таблиця 3.14

Динаміка сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Змістовий вимір	Зв’язок з компонентами готовності	Початк. рівень (%)	Початк. рівень (%)	Δ	Серед. рівень (%)	Серед. рівень (%)	Δ	Просун. рівень (%)	Просун. рівень (%)	Δ
		Раунд 1	Раунд 2		Раунд 1	Раунд 2		Раунд 1	Раунд 2	
Екологічна етика Сценарії S1–S3	Когнітивний: розпізнавання екологічних ризиків; практико-операційний: вибір запобіжних дій; мотиваційно-ціннісний: орієнтація на сталість і відповідальність	29,7	5,6	-24,1	54,2	46,9	-7,3	16,1	47,5	+31,4
Відповідальні дослідження та інновації S4–S6	Когнітивний: аналіз соціальних наслідків інновацій; практико-операційний: вибір відповідального способу впровадження; мотиваційно-ціннісний: прийняття відповідальності за інноваційні рішення	28,6	6,1	-22,5	57,5	46,2	-11,3	13,9	47,7	+33,8
Відкритість і прозорість S7–S9	Когнітивний: розуміння принципів відкритої науки; практико-операційний: вибір способів оприлюднення / обмеження даних;	29,2	4,4	-24,8	56,9	45,3	-11,6	13,9	50,3	+36,4

	мотиваційно-ціннісний: наукова доброчесність і довіра									
Запобігання шкоді (dual-use) S10–S12	Когнітивний: ідентифікація ризиків подвійного використання; практико-операційний: вибір обмежувальних або захисних дій; мотиваційно-ціннісний: пріоритет безпеки й ненанесення шкоди	28,9	4,7	-24,2	56,6	44,8	-11,8	14,5	50,5	+36,0
Справедливість та інклюзія S13–S15	Когнітивний: аналіз інтересів стейкхолдерів; практико-операційний: вибір інклюзивних процедур; мотиваційно-ціннісний: орієнтація на справедливий розподіл ризиків і користі	28,3	4,4	-23,9	57,2	44,9	-12,3	14,5	50,7	+36,2
Інтегрований усереднений показник готовності		28,9	5,0	-23,9	56,5	45,6	-10,9	14,6	49,3	+34,7

Динаміка когнітивного компонента виявилася у суттєвому зростанні здатності здобувачів освіти розпізнавати етичні, екологічні та соціальні аспекти професійних ситуацій. Частка відповідей просунутого рівня зросла з 15,0 % до 48,9 %, тоді як частка відповідей початкового рівня зменшилася з 29,5 % до 5,0 %. Це свідчить про покращення розуміння наслідків застосування нанотехнологій, ризиків інноваційної діяльності та принципів відповідальних досліджень.

Позитивна динаміка практико-операційного компонента проявилася у зростанні готовності майбутніх фахівців приймати професійно обґрунтовані рішення в етично складних ситуаціях. Частка відповідей просунутого рівня збільшилася з 14,2 % до 49,1 %, а частка відповідей початкового рівня скоротилася з 28,8 % до 5,4 %. Отримані результати свідчать про розвиток умінь застосовувати принципи безпеки, відповідальності та управління ризиками під час виконання професійних завдань.

Найбільш виразні зміни відбулися у мотиваційно-ціннісному компоненті. Частка відповідей просунутого рівня зросла з 14,8 % до 49,5 %, тоді як частка відповідей початкового рівня зменшилася з 29,1 % до 4,8 %. Це свідчить про посилення орієнтації здобувачів освіти на принципи сталого розвитку, соціальної відповідальності, справедливості, інклюзивності та усвідомлення власної відповідальності за результати професійної діяльності.

Таким чином, можна констатувати, що інтегрований показник готовності до професійної діяльності характеризується зростанням частки відповідей просунутого рівня з 14,6 % до 49,3 % та скороченням частки відповідей початкового рівня з 28,9 % до 5,0 %, що підтверджує позитивний вплив розробленої моделі на формування готовності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності через розвиток їхньої етичної відповідальності.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі здійснено експериментальну перевірку ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Перевірка проводилася в умовах реального освітнього процесу шляхом інтеграції відповідного змісту в базові навчальні дисципліни та використання відкритого навчально-методичного ресурсу для самостійного опрацювання.

Для збору даних використано спеціально розроблений сценарний інструмент із двома змістовно співвідносними, але не ідентичними формами, що дало змогу простежити динаміку етичних міркувань без ефекту механічного запам'ятовування відповідей. Описовий аналіз результатів двох раундів сценарного оцінювання засвідчив загальну позитивну динаміку у структурі відповідей студентів. Збереження міжсценарної та міжкомпонентної варіативності підтвердило, що розвиток етичної відповідальності має не лінійний, а диференційований і контекстно зумовлений характер.

Установлено, що для коректного аналізу результатів сценарного оцінювання недостатньо спиратися лише на агреговані описові показники, оскільки вони не дають змоги відокремити рівень етичної відповідальності респондентів від властивостей самих сценаріїв. Тому методично обґрунтованим виявилося застосування моделі часткового кредиту в межах теорії відповіді на завдання, а також непараметричних і кореляційних методів аналізу, адекватних порядковому характеру даних і дизайну з паралельними формами інструменту.

Результати Rasch-аналізу підтвердили психометричну придатність сценарного інструменту для оцінювання етичної відповідальності. Усі сценарії продемонстрували прийнятні показники відповідності моделі, позитивні кореляції типу пункт–міра та достатню диференціацію за параметром складності. Це свідчить про те, що інструмент охоплює широкий діапазон ситуацій за рівнем вимогливості до етичної рефлексії та здатний розрізняти студентів із різними рівнями латентної етичної відповідальності.

Порівняння розподілів латентного параметра θ у двох раундах оцінювання засвідчило загальний зсув у бік вищих значень у другому раунді, що в межах обраного дизайну дає підстави говорити про позитивну динаміку сформованості етичної відповідальності під впливом розробленого навчально-методичного комплексу. Водночас збереження варіативності латентних показників підтверджує, що процес формування етичної відповідальності не супроводжується штучною уніфікацією результатів, а відображає індивідуальні траєкторії розвитку студентів.

Оцінювання внутрішньої узгодженості компонентів інструменту показало, що окремі компоненти можуть мати помірні або знижені значення класичних коефіцієнтів надійності, що є очікуваним для сценарних інструментів, побудованих на змістовно різних професійних ситуаціях. Водночас вищі показники узгодженості для інтегрального показника засвідчили, що на загальному рівні етична відповідальність функціонує як цілісний конструкт, тоді як окремі її виміри зберігають змістову автономність.

Кореляційний аналіз між компонентами етичної відповідальності підтвердив її багатовимірну структуру. На початковому етапі навчання зв’язки між компонентами мали переважно низький або помірний характер, що свідчило про фрагментарність етичних міркувань. У другому раунді простежувалося посилення взаємозв’язків між окремими компонентами, що може бути інтерпретоване як ознака формування більш інтегрованої системи етичного мислення, однак без редукції всіх вимірів до одного одномірного показника.

Результати експериментальної перевірки в цілому підтвердили ефективність структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства в частині розвитку етичної відповідальності як її системоутворювального чинника.

Основні результати розділу відображено в наукових працях автора: 11, 13, 23, 31, 32, 33, 34.

Список використаних джерел до розділу 3

1. Bond, T. G., Yan, Z., & Heene, M. (2020). Applying the Rasch model: Fundamental measurement in the human sciences (4th ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780429030499

2. Cai, L., Choi, K., Hansen, M., & Harrell, L. (2016). Item Response Theory. Annual Review of Statistics and Its Application, 3(1), 297–321. https://doi.org/10.1146/annurev-statistics-041715-033702

3. Cantwell, P. (2008). Census. In Encyclopedia of survey research methods (Vol. 0, pp. 91-93). Sage Publications, Inc., https://doi.org/10.4135/9781412963947.n61

4. Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. Psychometrika, 16(3), 297–334. https://doi.org/10.1007/BF02310555

5. Dunn, T. J., Baguley, T., & Brunsden, V. (2014). From alpha to omega: A practical solution to the pervasive problem of internal consistency estimation. British Journal of Psychology, 105(3), 399–412. https://doi.org/10.1111/bjop.12046

6. Gurenko, O., & Suchikova, Y. (2023). The Odyssey of Ukrainian Universities: From quality assurance to a culture of quality education. Management in Education. https://doi.org/10.1177/08920206231218351

7. Fisher, R. A. (1915). "Frequency distribution of the values of the correlation coefficient in samples of an indefinitely large population". Biometrika. 10 (4): 507–521. https://doi.org/10.2307%2F2331838

8. Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M. et al. AI4People–An Ethical Framework for a Good AI Society: Opportunities, Risks, Principles, and Recommendations. Minds & Machines 28, 689–707 (2018). https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5

9. Joly, P. B., & Le Renard, C. (2021). The past futures of techno-scientific promises. Science and Public Policy, 48(6), 900-910. https://doi.org/10.1093/scipol/scab054

10. Hertwich, E. G. (2021). Increased carbon footprint of materials production driven by rise in investments. Nature Geoscience, 14(3), 151-155. https://doi.org/10.1038/s41561-021-00690-8

11. Kovachov, S., Suchikova, Y., Popova, A., & Bogdanov, I. (2023). Current state of future specialists training in the field of nanomaterials science: a brief overview of educational programs and ways for improvement. UNESCO Chair Journal Lifelong Professional Education in the XXI Century, 1(7), 66–85. https://doi.org/10.35387/ucj.1(7).2023.66-8

12. Kovachov, S. S., Kurylo, O. Y., & Sychikova, Y. O. (2024). Integration of Sustainable Development Goals into Nanotechnology Programs for Competitiveness and Post-War Recovery of Ukraine. In Ukrainian universities amidst new realities: the conservation of scientific and human resources (pp. 196–215). Baltija Publishing. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-434-4-9

13. Kovachov, S., Kryvylova, O., Kurylo, O., Popova, A., Mytsyk, H., & Sychikova, Y. (2024). Assessing stakeholder perspectives on essential skills in nanoscience: What matters most?. In S. Tolochko (Ed.), TRANSFORMATION OF EDUCATION: MODERN CHALLENGES (pp. 26–51). Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-06-1.ch2

14. Hurenko, O., Bohdanov, I., Tsybuliak, N., Lopatina, H., Suchikova, Y., & Popova, A. (2023). Development of an Inclusive Educational Environment in Higher Education Institutions: A Project Approach Using IDEF0. In 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT). IEEE. https://doi.org/10.1109/csit61576.2023.10324022

15. Lord, F. M., & Novick, M. R. (1968). Statistical theories of mental test scores. Addison-Wesley

16. Masters, G. N. (1982). A Rasch model for partial credit scoring. Psychometrika, 47(2), 149–174. https://doi.org/10.1007/BF02296272

17. McDonald, R. P. (1999). Test theory: A unified treatment. Lawrence Erlbaum Associates.

18. Miranda, L., & Devezas, T. (2022). On the global time evolution of the Covid-19 pandemic: Logistic modeling. Technological Forecasting and Social Change, 175, 121387. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121387

19. National Academies of Sciences. (2018). Dual Use Research of Concern in the Life Sciences. https://doi.org/10.17226/24761

20. Rosenbaum, P. R. (2020). Modern Algorithms for Matching in Observational Studies. Annual Review of Statistics and Its Application, 7(Volume 7, 2020), 143-176. https://doi.org/10.1146/annurev-statistics-031219-041058

21. Seemiller, C., & Crosby, B. C. (2019). Exploring and Enhancing Leader, Educator, and Leadership Educator Professional Identities. New Directions for Student Leadership, 2019(164), 71-86. https://doi.org/10.1002/yd.20359

22. Spearman, C. (1904). The proof and measurement of association between two things. The American Journal of Psychology, 15(1), 72–101. https://doi.org/10.2307/1412159

23. Suchikova, Y., Kovachov, S., Kryvylova, O. et al. (2025). Developing Ethical Responsibility in Future Nanoscience Professionals Through Scenario-Based Assessment. Sci Eng Ethics 31, 23. https://doi.org/10.1007/s11948-025-00549-w

24. Suchikova, Y., & Nazarovets, S. (2025). Extending the CARE Principles: Managing data for vulnerable communities in wartime and humanitarian crises. Scientific Data, 12(1), 420. https://doi.org/10.1038/s41597-025-04756-9

25. Suchikova, Y., & Nazarovets, S. (2026). AI used in warfare needs a strong ethical framework. Nature 652, 266. https://doi.org/10.1038/d41586-026-01008-7

26. Svihla, V., & Chen, Y. (2022). A funds of knowledge approach to developing engineering students' design problem framing skills. Journal of Engineering Education, 111(2), 308-337. https://doi.org/10.1002/jee.20445

27. Tukey, J. W. (1977). Exploratory data analysis. Addison-Wesley

28. Zhang, Z., & Yuan, K.-H. (2018). Practical statistical power analysis using WebPower and R. ISDSA Press. https://webpower.psychstat.org/wiki/models/index

29. Zumbo, B. D., Gadermann, A. M., & Zeisser, C. (2007). Ordinal versions of coefficients alpha and theta for Likert rating scales. Journal of Modern Applied Statistical Methods, 6(1), 21–29

30. UNESCO. (2021). UNESCO Recommendation on Open Science. https://doi.org/10.54677/MNMH8546

31. Богданов, І., Сичікова, Я., & Ковачов, С. (2024a). Теоретичні та методологічні засади підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства для продуктивної професійної діяльності. Монографія. Київ: ФОП Самченко А. М. ISBN 978-617-8413-09-5

32. Богданов, І., Сичікова, Я., Кривильова, О., & Ковачов, С. (2024b). Наноматеріалознавство: Курс лекцій. Київ: ФОП Самченко.

33. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2024a). Підходи до оцінювання якості наноструктур на поверхні напівпровідників. Монографія. Київ: ФОП Самченко А. М. ISBN 978-617-95380-5-6

34. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2024b). Актуальні питання винахідництва та патентування у нанотехнологічній галузі. Монографія. Київ: ФОП Самченко А. М. ISBN 978-617-8413-07-1

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні теоретично обґрунтовано, розроблено та експериментально перевірено ефективність структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Результати дослідження дали підстави для таких висновків.

1. На основі аналізу сучасної теорії та практики розкрито сутність базових понять дослідження: «нанонаука», «наноматеріалознавство» «нанотехнології», «етична відповідальність» та ін. Уточнено поняття «готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства» та «формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства».

2. Визначено структурні компоненти готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства: когнітивний компонент – знання, розуміння та аналітичне осмислення етичних, соціальних і безпекових аспектів науково-дослідної та інноваційної діяльності; практико-операційний компонент – вміння приймати рішення та реалізовувати відповідні дії в ситуаціях, пов’язаних із відповідальними дослідженнями та інноваціями; мотиваційно-ціннісний компонент – система цінностей, установок і мотивів, що визначають відповідальну професійну поведінку.

Схарактеризовано критерії, показники та рівні сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Оцінювання когнітивного компонента здійснюється за здатністю здобувачів освіти ідентифікувати етичні аспекти професійних ситуацій, аналізувати їх та здійснювати системне й структуроване етичне міркування. Сформованість практико-операційного компонента визначається здатністю до багатовимірної аргументації, прогнозування потенційних і віддалених наслідків професійних рішень, а також прийняття обґрунтованих рішень в умовах невизначеності. Рівень сформованості мотиваційно-ціннісного компонента характеризується усвідомленням меж професійної відповідальності, орієнтацією на етичні цінності та готовністю діяти відповідально щодо суспільства, довкілля й

професійної спільноти. Відповідно до визначених критеріїв виокремлено три рівні сформованості готовності: початковий, середній та просунутий.

3. Розроблено навчально-методичне забезпечення формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Удосконалено зміст фахової підготовки шляхом інтеграції етичного, безпекового, екологічного та соціального контекстів. Розроблено курс «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», побудований на сценарному підході та реалізований у рефлексивно-імерсивному освітньому середовищі, що забезпечує залучення здобувачів освіти до аналізу професійно релевантних етичних дилем, аргументації професійного вибору та осмислення відповідальності за наслідки ухвалених рішень. Навчально-методичне забезпечення курсу охоплює сценарні завдання, презентаційні та відеоматеріали, інфографіку, ментальні карти, чек-листи, гайди й інші дидактичні засоби, придатні для використання як у межах окремого курсу, так і в інтегрованому форматі у структурі фахових дисциплін. Розроблено сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, що дає змогу відстежувати динаміку відповідних показників у процесі професійної підготовки.

4. Теоретично обґрунтовано та розроблено структурно-функціональну модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, яка складається з цільового, методологічного, змістово-процесуального та діагностично-оцінювального блоків; забезпечує результат, яким є сформована готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства; передбачає поетапне запровадження оновленого змісту, форм організації освітнього процесу, методів і засобів навчання; реалізується завдяки створенню педагогічних умов (забезпечення розподіленого характеру формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства шляхом поетапної інтеграції принципів етичної відповідальності в освітній процес, модернізація змісту фахових дисциплін підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності через імплементацію

модулів курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», адаптація навчально-методичних матеріалів курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» до поліформатних умов підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, упровадження сценарно-орієнтованого оцінювання сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, реалізація фасилітативного супроводу освітньої діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, підтримка рефлексивно-імерсивного освітнього середовища у процесі професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства); розроблено, психометрично верифіковано та апробовано сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства з урахуванням вимог етичної відповідальності, побудований на аналізі професійно релевантних етичних дилем та інтеграції педагогічних і психометричних підходів).

5. Експериментально перевірено ефективність структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Результати дослідження засвідчили позитивну динаміку у сформованості готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, істотне скорочення частки здобувачів із початковим рівнем прояву готовності до професійної діяльності (з 28,9 % до 5,0 %) та одночасне збільшення частки здобувачів із просунутим рівнем (з 14,6 % до 49,3 %). Отримані дані підтверджено використанням методів математичної статистики.

Викладені в дисертації результати дослідження й висновки не претендують на остаточне й вичерпне розв’язання проблеми формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Перспективами подальших наукових розвідок є апробація запропонованої моделі в суміжних високотехнологічних галузях, а також дослідження впливу викликів сталого розвитку, цифрових і генеративних технологій на професійну підготовку майбутніх фахівців з урахуванням етичної відповідальності.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у закордонних виданнях, що індексуються у БД Scopus:

1. Suchikova, Y., Kovachov, S., Kryvylova, O. et al. Developing Ethical Responsibility in Future Nanoscience Professionals Through Scenario-Based Assessment. Sci Eng Ethics 31, 23 (2025). https://doi.org/10.1007/s11948-025-00549-w

2. Kovachov, S., Bohdanov, I., & Suchikova, Y. (2025). Nano or Na-No? Ukraine's crisis of opportunity in nanotechnology education. Industry and Higher Education. https://doi.org/10.1177_09504222231209259

3. Nesterenko M., Mytsyk H., Petryk K., Kryvylova O., Kovachov S., & Suchikova Y. (2025). STEM educatison through the eyes of teachers from various specialties in Ukrainian Pedagogical University. International Journal of Educational Research Open, 9, 100464. https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100464

4. Petryk, K., Nesterenko, M., Mytsyk, H., Kovachov, S., Kryvylova, O., & Suchikova, Y. (2024). A cross-specialization study of pre-service teachers' perception of STEM education. International Journal of Science Education, 1–27. https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2432489

5. Nesterenko, M., Mytsyk, H., Petryk, K. et al. (2024). From Resistance to Acceptance: The Role of Higher Education in the Integration of STEM Education for Sustainable Development. Journal for STEM Educ Res. https://doi.org/10.1007/s41979-024-00141-0

Розділи книг, що індексуються у БД Scopus:

6. Kovachov, S., Kryvylova, O., Kurylo, O., Popova, A., Mytsyk, H., & Sychikova, Y. (2024). Assessing stakeholder perspectives on essential skills in nanoscience: What matters most?. In S. Tolochko (Ed.), TRANSFORMATION OF

EDUCATION: MODERN CHALLENGES (pp. 26–51). Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-06-1.ch2

7. Bohdanov, I., Sychikova, Y., Kovachov, S., Kurylo, O., & Kryvylova, O. (2024). Chapter 5. Education-Science-Values: A Triple Helix Approach to Nanotechnology Education for Sustainable Development. In REDEFINING HIGHER EDUCATION: INNOVATION, INCLUSION, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT DURING WARTIME (pp. 142–181). TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-07-8.ch5

8. Sychikova, Y., Nesterenko, M., Mytsyk, H., Petryk, K., & Kovachov, S. (2024). Building the future through STEM education: a catalyst for sustainable development and national revival of Ukraine. In REDEFINING HIGHER EDUCATION: INNOVATION, INCLUSION, AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT DURING WARTIME (pp. 116–141). TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/10.15587/978-617-8360-07-8.ch

Праці апробаційного характеру, що індексуються у БД Scopus:

9. Kovachov, S., Kryvylova, O., Kurylo, O., Bohdanov, I., Popova, A., & Suchikova, Y. (2024). Skills of Future Nano-Specialists for Electronics and Energy: Insights from a Delphi Study. In 2024 IEEE 6th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/mees64070.2024.11405110

10. Popova, A., Kovachov, S., Lopatina, H., Tsybuliak, N., Suchikova, Y., & Bohdanov, I. (2023). High-Quality Digital Bichronous Education for Nanoengineers During the War in Ukraine: Does Technology Knowledge Matter? In 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES). IEEE. https://doi.org/10.1109/mees61502.2023.10402460

11. Suchikova, Y., Bohdanov, I., Kovachov, S., Bardus, I., Lazarenko, A., & Shishkin, G. (2021). Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis. У 2021 IEEE 3rd

Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). IEEE. https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575745

12. Suchikova, Y. O., & Kovachov, S. S. (2024). Nanoart in STEAM education: Combining the microscopic and the creative. Journal of Physics: Conference Series, 2871(1), 012024. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2871/1/012024

13. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I., Kosogov, I., Drozhcha, D., & Popov, A. I. (2025). New Approach to Synthesizing the CdO/por-CdS/CdS Heterostructure. In 2025 IEEE 6th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/khpiweek61436.2025.11288657

14. Suchikova, Y., Kovachov, S., Kosogov, I., Bohdanov, I., Popov, A. I., & Popov, A. I. (2024). Improvement of ß-SiC/por-Si/mono-Si Heterostructures for Supercapacitor Applications by Mitigating Lattice Mismatch and Improving Electrochemical Performance. In 2024 IEEE 14th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP) (pp. 1–5). IEEE. https://doi.org/10.1109/nap62956.2024.10739751

15. Suchikova, Y., Kovachov, S., Karipbaev, Z., Zhydachevskyy, Y., Bohdanov, I., & Popov, A. I. (2024). Investigation of Photoluminescence and Raman Emission of Porous Gallium Phosphide. In 2024 IEEE 42nd International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO) (pp. 227–230). IEEE. https://doi.org/10.1109/elnano63394.2024.10756876

16. Suchikova, Y., Kovachov, S., Bohdanov, I., Kosogov, I., Drozhcha, D., & Popov, A. I. (2024). Electrochemical Synthesis and Characterization of AlGaAs/GaAs Nanostructured Heterostructures for Advanced Electronic and Optoelectronic Applications. In 2024 IEEE 7th International Conference on Smart Technologies in Power Engineering and Electronics (STEE) (pp. TT3.24.1—TT3.24.4). IEEE. https://doi.org/10.1109/stee63556.2024.10747853

17. Bohdanov, I., Kovachov, S., Tsybuliak, N., Lopatina, H., Popova, A., & Suchikova, Y. (2023). Resilience in Wartime Research: Case of Anticrisis

Management at a Ukrainian University. In 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT). IEEE. https://doi.org/10.1109/csit61576.2023.10324134

Статті у фахових та закордонних виданнях:

18. Лопатіна, Г., Попова, А., Цибуляк, Н., Ковачов, С., & Сичікова, Я. (2024). Інтеграція науки, освіти та інновацій для сталого розвитку високотехнологічних галузей: модель потрійної спіралі. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету, (1), 67–80. https://doi.org/10.32782/2412-9208-2024-1-67-80

19. Ковачов, С., Кривильова, О., Попова, А., & Сичікова, Я. (2024). Огляд кристалографічних баз даних для навчання майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства в умовах асинхронного навчання. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету, (1), 171–188. https://doi.org/10.32782/2412-9208-2024-1-171-188

20. Ковачов, С., Сичікова, Я., Попова, А., & Богданов, І. (2023). Засоби та методи асинхронного навчання при підготовці наноінженерів до професійної діяльності. Наукові записки БДПУ, Серія: Педагогічні науки, (1), 264-278.

21. Kovachov, S. S., Kurylo, O. Y., & Sychikova, Y. O. (2024). Integration of Sustainable Development Goals into Nanotechnology Programs for Competitiveness and Post-War Recovery of Ukraine. In Ukrainian universities amidst new realities: the conservation of scientific and human resources (pp. 196–215). Baltija Publishing. https://doi.org/10.30525/978-9934-26-434-4-9

22. Kovachov , S., Suchikova, Y., Popova, A., & Bogdanov, I. (2023). Current state of future specialists training in the field of nanomaterials science: a brief overview of educational programs and ways for improvement. UNESCO Chair Journal Lifelong Professional Education in the XXI Century, 1(7), 66–85. https://doi.org/10.35387/ucj.1(7).2023.66-85

23. Попова, А., Сичікова, Я., Цибуляк, Н., Лопатіна, Г., Ковачов, С., & Попов, П. (2023). Дистанційне та змішане навчання в університетах України: Рефлексії щодо їх впровадження у мирний та воєнний час. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 2, 98–117. https://doi.org/10.31494/2412-9208-2023-1-2-98-117

24. Сичікова, Я., Ковачов, С., Несторенко, О., & Макаренко, Т. (2023). Рефлексивний аналіз сучасних викликів вищої освіти в сфері нанотехнологій: український контекст та глобальні перспективи. Technologies and society: innovations, artificial intelligence, and challenges (с. 293–304). Katowice, Poland. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/1747

25. Бардус, І., Ковачов, С., Богданов, І., & Сичікова, Я. (2022). Професійна діяльність фахівця в галузі наноматеріалознавства зі створення наноструктур на поверхні напівпровідників. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 1, 55–64. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/923

26. Бардус, І., Ковачов, С., Богданов, І., & Сичікова, Я. (2022). Професійна компетентність фахівця у галузі наноматеріалознавства зі створення інноваційних наноструктур на поверхні напівпровідників. Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки, 3, 237–248. https://dspace.bdpu.org.ua/handle/123456789/428

Інші праці апробаційного характеру:

27. Ковачов, С., Попова, А., Богданов, І., & Сичікова, Я. (2023). Концептуальні засади підготовки нанотехнологів для створення наноматеріалів подвійного призначення. Actual Problems in the System of Education: General Secondary Education Institution – Pre-University Training – Higher Education Institution, (3), 368–376. за матеріалами IX Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми в системі освіти: заклад загальної середньої освіти – доуніверситетська підготовка – заклад

вищої освіти» 17 лютого 2023 року, м. Київ, Україна https://doi.org/10.18372/2786-5487.1.17717

28. Сичікова , Я. О., Ковачов , С. С., Попова , А. С., & Богданов , І. Т. (2023). Цифрова трансформація та біхронне навчання під час війни: практичний приклад підготовки майбутніх наноінженерів. Дистанційна освіта в Україні: інноваційні, нормативно-правові, педагогічні аспекти, 1(3), 357–371. IV Міжнародна науково-практична конференція «Дистанційна освіта: інноваційні, нормативно-правові, педагогічні аспекти», присвячена 90-річчю Національного авіаційного університету 18 травня 2023 року, м. Київ, Україна Київ 2023 https://doi.org/10.18372/2786-5495.1.17799

Монографії:

29. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2024). Підходи до оцінювання якості наноструктур на поверхні напівпровідників. Монографія. Київ: ФОП Самченко А. М. ISBN 978-617-95380-5-6

30. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2024). Актуальні питання винахідництва та патентування у нанотехнологічній галузі. Монографія. Київ: ФОП Самченко А. М. ISBN 978-617-8413-07-1

31. Богданов, І., Сичікова, Я., & Ковачов, С. (2024). Теоретичні та методологічні засади підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства для продуктивної професійної діяльності. Монографія. Київ: ФОП Самченко А. М. ISBN 978-617-8413-09-5

Посібник:

32. Богданов, І., Сичікова, Я., Кривильова, О., & Ковачов, С. (2024). Наноматеріалознавство: Курс лекцій. Київ: ФОП Самченко.

Нормативно-технічні документи:

33. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023). Методика М.В. 1.5–2023 «НАНОМАТЕРІАЛИ. Синтез плівок $CuIn(Ga)Se_2$ для застосувань у сонячній енергетиці».

34. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023). Методика М.В. 1.4–2023 «НАНОМАТЕРІАЛИ. Синтез гетероструктури CdO/por-CdS/CdS».

35. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023). Методика М.В. 1.3–2023 «НАНОМАТЕРІАЛИ. Синтез нанодротів $Al_xGa_{1-x}As$ на поверхні mono-GaAs».

36. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023). Методика М.В. 1.2–2023 «НАНОМАТЕРІАЛИ. Синтез гетероструктури CdxTeyOz/CdS/ZnO методом SILAR».

37. Сичікова, Я., Богданов, І., & Ковачов, С. (2023). Методика М.В. 1.1–2023 «НАНОМАТЕРІАЛИ. Синтез наноструктурованого β-SiC на кремнієвій підкладці».

38. Сичікова, Я., Попова, А., & Ковачов, С. (2023). Концепція професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Патенти:

39. Сичікова, Я. О., Ковачов, С. С., & Богданов, І. Т. (2025). Спосіб отримання плівки β-SiC на кремнієвій підкладці. Патент № 158161 (Україна), бюл. № 2/2025. Дата подання заявки: 13.11.2023. Дата, з якої є чинними права: 09.01.2025.

40. Сичікова, Я. О., Ковачов, С. С., & Богданов, І. Т. (2025). Спосіб синтезу гетероструктури ZnO/ZnS/por-Si. Патент № 158162 (Україна), бюл. № 2/2025. Дата подання заявки: 14.11.2023. Дата, з якої є чинними права: 09.01.2025. https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1836097/

ДОДАТОК Б

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: КУРС «ЕТИКА В НАНОНАУЦІ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЯХ» (розробка автора)

Посилання на курс «Етика в нанонауці та нанотехнологіях»: https://doi.org/10.5281/zenodo.19948355

МОДУЛЬ 2. Відповідальні дослідження та інновації (RRI)

Вступ до модуля

Розвиток нанотехнологій відбувається в умовах високої швидкості наукових відкриттів, глобальної конкуренції та зростаючого тиску на інноваційну ефективність. У таких умовах рішення щодо напрямів досліджень, вибору технологічних підходів і пріоритетів впровадження часто ухвалюються на ранніх етапах, коли соціальні, етичні та екологічні наслідки ще не можуть бути повноцінно оцінені. Це створює напругу між прагненням до наукового прогресу та потребою відповідального управління інноваціями.

Концепція відповідальних досліджень та інновацій (Responsible Research and Innovation, RRI) пропонує розглядати наукову діяльність не як лінійний процес від відкриття до застосування, а як соціально вбудовану практику, що потребує постійної рефлексії, передбачення наслідків і залучення різних стейкхолдерів. У контексті нанотехнологій RRI набуває особливої ваги, оскільки навіть фундаментальні дослідження можуть формувати траєкторії розвитку з довгостроковими та потенційно незворотними ефектами.

Метою цього модуля є формування розуміння відповідальності як процесу, інтегрованого у всі етапи досліджень та інновацій — від постановки наукової проблеми до управління наслідками впровадження. Модуль спрямований на розвиток здатності критично оцінювати не лише результати, а й часові, інституційні та соціальні виміри прийняття рішень у нанотехнологічній сфері.

39

Лекція

«Інновація без паузи: де і як з'являється відповідальність»

Розділ 1. Чому відповідальність починається до появи шкоди

У традиційній логіці наукових досліджень та інновацій етична відповідальність часто розглядається як **реакція на вже зафіксовані негативні наслідки**. Такий підхід передбачає, що етичні питання виникають лише після появи шкоди (екологічної, соціальної або безпекової) і мають бути врегульовані шляхом заборон, компенсацій або корекції практик.

Однак у сфері нанотехнологій подібна логіка виявляється принципово обмеженою. Висока складність систем, довготривалі та непрямі ефекти, а також швидке масштабування технологічних рішень означають, що момент виявлення шкоди часто настає тоді, коли можливості впливу вже суттєво обмежені. У такому випадку етика виконує радше компенсаторну, ніж превентивну функцію.

Саме тому сучасні підходи до відповідальних досліджень і інновацій виходять з тези, що **ключові етичні рішення ухвалюються задовго до практичного застосування технології** — ще на етапах формулювання дослідницьких запитань, вибору методів, визначення критеріїв успішності та уявлень про бажані результати.

Кейс:

Показовим прикладом того, що етичні наслідки закладаються ще до появи шкоди, є рання дискусія щодо безпечності вуглецевих нанотрубок. У 2008 році в Nature Nanotechnology було продемонстровано, що довгі багатостінні нанотрубки можуть проявляти асбестоподібну, довжинозалежну патогенність у модельних умовах: біологічна реакція була пов'язана не з самим фактом «нанорозміру», а з геометрією/морфологією, тобто з параметром, який визначається вже на стадії дизайну й синтезу. Важливо, що ризик був концептуалізований як наслідок раннього технічного вибору (які саме наноструктури проектуються і стабілізуються: довгі, жорсткі, волокноподібні або навпаки коротші, агломеровані чи іншої морфології), тоді як на момент активного інвестування в технологію домінувало припущення, що нанотрубки «не небезпечніші за графіт». Отже, цей випадок демонструє логіку, характерну для нанотехнологій: етично значущим є не лише «що ми зробили», а «який дизайн параметрів ми нормалізували як успішний». Саме такі рішення, ще до масового застосування, визначають, чи буде ризик керованим, чи стане «видимим» занадто пізно, коли технологія вже масштабована.

МОДУЛЬ 2 Відповідальні дослідження та інновації (RRI) 40

На перший погляд, такі рішення можуть здаватися суто технічними або методологічними. Проте саме вони визначають траєкторію подальшого розвитку технології та спектр можливих наслідків.

До етично значущих рішень раннього етапу належать, зокрема:

- вибір проблеми, яка вважається «вартісною» для дослідження;
- визначення показників ефективності (наприклад, продуктивність, економічна доцільність, масштабованість);
- ігнорування або включення екологічних і соціальних параметрів у дослідницький дизайн;
- припущення щодо майбутніх сфер застосування результатів.

Ці рішення формують **рамку допустимого**, у межах якої згодом здійснюються інженерні та управлінські вибори. Відтак відповідальність не може зводитися до контролю кінцевого продукту, вона повинна розглядатися як властивість усього процесу дослідження та інновації.

Кейс:

Показовими є дискусії щодо неорганічних UV-фільтрів (TiO_2, ZnO) у сонцезахисних продуктах: технологія вирішує важливу медичну задачу, однак у літературі описані сценарії потенційного впливу частинок та формуляцій на морські організми (залежно від форми, покриття, умов середовища). Це підкреслює, що етичний вимір з'являється не «після шкоди», а вже при виборі формуляції та припущень про середовище використання

Для ілюстрації цієї логіки доцільно розглянути, **на яких етапах інноваційного процесу вже закладаються потенційні етичні наслідки** (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 Етапи інноваційного процесу та типові рішення відповідальності

Етап	Типові рішення	Потенційний етичний вимір
Формулювання проблеми	Вибір теми дослідження	Чиї потреби визнаються пріоритетними
Дослідницький дизайн	Методи, матеріали, критерії успіху	Які ризики вважаються релевантними
Експеримент	Умови, масштаб, контроль змінних	Які ефекти залишаються «поза кадром»
Інтерпретація результатів	Акценти у висновках	Які наслідки вважаються другорядними
Передача результатів	Публікація, патентування, комунікація	Хто і як зможе використати результати
Масштабування	Впровадження, комерціалізація	Які ризики посилюються зі зростанням масштабу

МОДУЛЬ 2 Відповідальні дослідження та інновації (RRI) 41

Рис. 2.1 Відкритий потенціал застосування нанотехнологій ... несподіваних сфер використання

Розділ 4. Антиципація: як передбача... спекуляцій

межах RRI є процесом, а не результатом, і її мета полягає у виявленні простору відповідальності, а не у формуванні завершених прогнозів.

Для кращого розмежування антиципації та спекулятивного мислення доцільно порівняти ці підходи за ключовими характеристиками (таблиця 2.3, рисунок 2.2).

Таблиця 2.3 Антиципація та спекуляція: принципові відмінності

Ознака	Антиципація в RRI	Спекулятивне прогнозування
Мета	Виявлення зон невизначеності та ризику	Передбачення конкретних майбутніх подій
Статус знання	Визнання обмеженості та неповноти	Імітація повної визначеності
Робота з даними	Опора на наявні знання та їх межі	Вихід за межі емпіричних підстав
Роль сценаріїв	Інструмент для мислення	Самоціль
Етична функція	Підвищення чутливості до наслідків	Часто — легітимація рішень

Рис. 2.2 Антиципація і спекулятивна етика в нанотехнологіях

Антиципація у нанотехнологіях тісно пов'язана з тим, що результати досліджень можуть мати **відкритий потенціал застосування**, а отже — різні траєкторії розвитку. У такій ситуації відповідальність полягає не у передбаченні всіх можливих варіантів, а у **свідомому визнанні цієї відкритості** та обережному формулюванні очікувань і тверджень щодо майбутнього використання технології.

Важливим аспектом антиципації є також робота з відкладеними та непрямими ефектами. У нанотехнологіях багато впливів не проявляються одразу і можуть стати помітними лише після тривалого періоду експлуатації або масштабування.

МОДУЛЬ 2 Відповідальні дослідження та інновації (RRI) 47

і невизначеностей. У цьому сенсі відповідальність у RRI є **розподіленою**, а не зосередженою в одному суб'єкті.

У практичному вимірі рефлексія в RRI реалізується не як окремий етичний етап, а як регулярно повторюваний аналітичний цикл, інтегрований у ключові точки дослідницького процесу (рисунок 4). Йдеться, зокрема, про усвідомлену фіксацію рішень на етапах формулювання дослідницької проблеми, вибору методів, інтерпретації результатів та комунікації висновків. Рефлексивна практика передбачає постановку запитань не лише щодо технічної доцільності («чи це працює?»), але й щодо контекстуальних припущень («чому саме цей критерій вважається пріоритетним?»), альтернатив («які інші рішення були можливими?») та потенційних наслідків («у яких контекстах результати можуть бути використані інакше, ніж передбачалося?»). Важливо, що такі запитання не вимагають остаточних відповідей; їхня функція полягає у тому, щоб зробити процес прийняття рішень видимим і обговорюваним.

МОДУЛЬ 2 Відповідальні дослідження та інновації (RRI) 51

Для систематизації кола зацікавлених сторін у нанотехнологічних інноваціях доцільно розглянути їх у ширшому спектрі, ніж це зазвичай робиться в інженерній практиці (таблиця 2.6).

Таблиця 2.6 Типи зацікавлених сторін у нанотехнологіях

Група	Потенційний зв'язок з технологією	Типовий ризик виключення
Дослідники та інженери	Розробка та тестування	Орієнтація лише на технічні критерії
Промислові партнери	Масштабування та комерціалізація	Пріоритет економічної доцільності
Регуляторні органи	Нормативне забезпечення	Запізніла реакція на нові ризики
Працівники виробництва	Безпосередній контакт з матеріалами	Недостатня видимість професійних ризиків
Локальні спільноти	Вплив на довкілля та умови життя	Відсутність голосу на ранніх етапах
Кінцеві користувачі	Використання продуктів	Обмежений доступ до інформації
Майбутні покоління	Відкладені екологічні наслідки	Структурна неможливість представництва

Інклюзія в RRI не означає, що всі зацікавлені сторони повинні брати участь у кожному рішенні. Йдеться радше про усвідомлений вибір того, чиї перспективи є релевантними в конкретному контексті, і про прозорість цього вибору. Такий підхід дозволяє уникнути як поверхневого залучення, так і повного ігнорування потенційно важливих голосів.

Особливу увагу в межах інклюзії слід приділяти тим групам, які не мають безпосереднього доступу до процесів прийняття рішень, але можуть зазнати значного впливу. У випадку нанотехнологій це можуть бути працівники нижчих ланок виробництва, мешканці територій, де розташовані виробничі об'єкти, або екосистеми, які не мають власного представництва, але відіграють ключову роль у підтриманні життєвих процесів.

Для уникнення формального підходу до інклюзії важливо також розуміти типові помилки, які знижують її ефективність (таблиця 2.7).

Таблиця 2.7 Типові помилки в реалізації інклюзії та альтернативні підходи

Помилка	Як вона проявляється	Альтернативна логіка
Формальне залучення	Участь без реального впливу	Усвідомлений діалог
Символічне представництво	Присутність «для галочки»	Включення релевантного досвіду
Експертний монополізм	Ігнорування неакадемічних знань	Визнання різних типів знання

МОДУЛЬ 2 Відповідальні дослідження та інновації (RRI) 54

Розділ 7. Відповідальність без повно... міф чи реальність?

Аналітичний гайд

«Як аналізувати інноваційні рішення з позицій відповідальності»

Призначення гайду

Гайд надає інструменти для самостійного аналізу інноваційних рішень з позицій відповідальності. Його мета — не визначити «етичність» технології, а навчити бачити наслідки, невизначеність, компроміси та приховані припущення в аргументації.

Як користуватися гайдом

1. Оберіть інноваційне рішення (матеріал, процес, продукт, метод, прототип, дослідницький проєкт).
2. Пройдіть блоки 1–4. Якщо даних бракує — фіксуйте це як результат аналізу.
3. Завершіть коротким висновком: що відомо / що невідомо / які компроміси / які мінімальні кроки відповідальності можливі.

Блок 1. Визначення рішення та його меж

Мета: уникнути ситуації, коли аналізується «все одразу» або, навпаки, лише вузький фрагмент.

Ключові питання:

- Що саме є інновацією: матеріал, спосіб синтезу, архітектура пристрою, метод вимірювання, спосіб масштабування?
- Який рівень аналізу: лабораторний прототип, пілот, виробництво, впровадження?
- Де межі системи: що входить у рішення, а що вважається «зовнішнім контекстом» (постачання, утилізація, користувачі)?

Блок 2. Орієнтири для виявлення соціальних та етичних наслідків

Мета: зробити видимими наслідки, які не потрапляють у суто технічні метрики.

Карта наслідків (соціально-етичний скринінг)

Напрям наслідків	На що звернути увагу	Приклад запитання
Екологічні та здоров'я	впливи життєвого циклу, експозиція, відкладені ефекти	Хто/що може зазнати впливу поза лабораторією?
Безпекові	небажане застосування, зловживання, dual-use	Чи може це бути використано для шкоди?

МОДУЛЬ 2 Відповідальні дослідження та інновації (RRI) 60

Напрям наслідків	На що звернути увагу	Приклад запитання
Соціально-економічні	праця, нерівність доступу, «вигоди/витрати»	Хто отримає вигоди, а хто нестиме витрати?
Інформаційні	прозорість, відтворюваність, комунікація невизначеності	Які обмеження даних мають бути сказані вголос?
Етичні відносини	згода, довіра, легітимність, участь стейкхолдерів	Хто має право голосу в рішеннях про впровадження?

Блок 3. Аналіз компромісів: швидкість – користь – ризики

Мета: навчитися бачити, що «ефективність» часто купується ціною інших параметрів.

Матриця компромісів (trade-off analysis)

Пара «напруга/компроміс»	Типова дилема	Що перевірити у вашому випадку
Швидкість ↔ Якість доказів	«потрібно швидко впроваджувати»	Чи достатньо даних про впливи на масштабі?
Користь ↔ Ризики	«користь переважає»	Які ризики не пораховані або «виведені за дужки»?
Інноваційність ↔ Пояснюваність	«це прорив»	Чи можна прозоро описати межі застосування?
Комерціалізація ↔ Відкритість	«IP важливіший»	Чи не приховано критичні дані/обмеження?
Масштабування ↔ Контроль	«вийдемо на ринок — потім доробимо»	Як зміниться ризик при зростанні виробництва?

Блок 4. Типові аргументи, що маскують відсутність відповідальності

Мета: виявити риторику, яка створює видимість відповідальності без зміни практик.

«Маскувальні» аргументи та як їх перевіряти

Аргумент-маска	Чому він проблемний	Аналітична перевірка (що запитати)
«Відповідає стандартам»	стандарт = мінімум, не повна етична оцінка	Які ризики залишаються поза регуляцією?
«Шкоди не доведено»	відсутність доказів ≠ доказ безпечності	Які дані відсутні і чому?
«Так роблять усі»	нормалізація не є виправданням	Які є альтернативи і чому їх відхилили?

МОДУЛЬ 2 Відповідальні дослідження та інновації (RRI) 61

Чек-лист для самоперевірки

(RRI-орієнтований інструмент самоперевірки)

Призначення чек-листа

Цей чек-лист призначений для **самостійної рефлексії** під час аналізу будь-якого нанотехнологічного рішення (матеріалу, процесу, продукту, дослідницького або інноваційного проєкту).

Він не є інструментом контролю або оцінювання, а слугує засобом виявлення зон відповідальності, невизначеності та потенційних «сліпих зон».

Інструкція з використання

Для кожного твердження:

- поставте ✔ якщо аспект враховано;
- поставте ? якщо інформації бракує або є сумніви;
- ☐ залиште порожнім, якщо аспект не аналізувався.

Позначка « ? » є очікуваною і вказує на зону етичної уваги, а не на помилку.

1. Видимість соціального контексту

Питання для самоперевірки	✔ / ?
Я визначив(ла) основні групи, на які може вплинути рішення	☐
Я врахував(ла) не лише кінцевих користувачів, а й непрямих стейкхолдерів	☐
Я замислив(ла)ся над тими, хто не має голосу в ухваленні рішень	☐
Соціальні наслідки не зведені лише до економічної вигоди	☐

2. Можливості корекції після запуску

Питання для самоперевірки	✔ / ?
Я усвідомлюю, що не всі наслідки можна передбачити наперед	☐
Передбачені механізми корекції після впровадження	☐
Можливі негативні сигнали не ігноруються як «винятки»	☐
Є готовність переглядати рішення за появи нових даних	☐

МОДУЛЬ 2 Відповідальні дослідження та інновації (RRI) 63

Аналітичні приклади інноваційних траєкторій (RRI)

1) Відповідальні корекції на пізніх етапах

Кейс 1. Приклади «пізніх» корекцій (responsiveness)

Інноваційна траєкторія	Що пішло не так (точка напруги)	Яка корекція була зроблена	Що це показує з позицій RRI
Впровадження нової нанодобавки/ нанопокриття з високою ефективністю	Виявлені непрямі або відкладені ефекти (експозиція, міграція, накопичення)	Зміна формуляції, перехід до інкапсуляції, обмеження сценаріїв застосування	Відповідальність як здатність до корекції, а не як «нуль ризику»
Масштабування процесу синтезу наноматеріалу	Ризики змінилися при переході з лабораторії на виробництво	Перегляд HSE-протоколів, моніторинг експозиції, адаптація технологічних параметрів	Контроль і відповідальність – динамічні; масштабування змінює профіль ризику
Комунікація «проривної» технології	Надмірні обіцянки, неузгоджені з реальними даними	Переформулювання заяв, публічне уточнення обмежень, зміна комунікаційної стратегії	Прозорість невизначеності підтримує довіру краще, ніж «гіпероптимізм»
Використання наноматеріалу в продукті з широким колом користувачів	Несподівані сценарії використання/ зловживання	Перепроєктування функцій безпеки, маркування, обмеження доступу	Антиципація не гарантує прогнозу, але підсилює готовність реагувати

2) Ігнорування соціальних аспектів → втрата довіри або легітимності

Кейс 2. Коли «технічна раціональність» не забезпечує прийнятності

Інноваційна траєкторія	Соціальний аспект, який проігноровано	Як проявилася втрата довіри/легітимності	Який висновок RRI
Технологія позиціонується як «очевидне благо»	Різні групи мають різні ризики і різні вигоди	Опір впровадженню, конфлікти, запит на заборону або мораторій	Прийнятність ≠ ефективність; потрібна робота зі стейкхолдерами
Високотехнологічне рішення без залучення кінцевих користувачів	Відсутність участі тих, кого технологія стосується	Репутаційні втрати, низька готовність до використання, недовіра до даних	Інклюзія — епістемічна умова якості, а не «соціальна прикраса»

МОДУЛЬ 2 Відповідальні дослідження та інновації (RRI) 67

Інноваційна траєкторія	Соціальний аспект, який проігноровано	Як проявилася втрата довіри/легітимності	Який висновок RRI
Інновація змінює умови праці/безпеки на виробництві	Недооцінено позицію працівників та професійні ризики	Скандали, конфлікти, публічні кампанії, посилення контролю	«Невидимі» групи часто несуть непропорційні ризики
Рішення впроваджується «швидко і масштабно»	Ігнорування контекстів (локальних, культурних, економічних)	Низька легітимність, звинувачення у нав'язуванні, відмова від технології	Контекст визначає етичність застосування, а не лише властивості технології

3) Формальна відповідність стандартам не запобігла етичним проблемам

Кейс 3. Коли комплаєнс ≠ відповідальність

Інноваційна траєкторія	У чому полягала «відповідність»	Яка етична проблема все одно виникла	Що це демонструє
Продукт/матеріал формально відповідає регуляціям	Пройдені формальні процедури та мінімальні вимоги	З'явилися ризики поза межами регуляції (відкладені/кумулятивні ефекти)	Стандарти задають мінімум; RRI працює з тим, що «поза нормативом»
Виконані вимоги без прозорої комунікації	Є формальні документи і звіти	Недовіра через непрозорість припущень і обмежень	Відповідальність включає комунікацію невизначеності
Оцінено лише «свій етап» інновації	Сертифікація фрагмента процесу	Проблеми виникли на етапі використання/утилізації	Життєвий цикл – етична категорія, а не лише технічна
Комплаєнс використано як аргумент завершеності	«Ми все виконали»	Відсутність механізмів корекції після запуску	Відповідальність процесуальна: важлива здатність реагувати

МОДУЛЬ 2 Відповідальні дослідження та інновації (RRI) 68

Часті питання (FAQ)

1. Чи означає відповідальна інновація, що ризиків не повинно бути взагалі?

Ні. Відповідальна інновація не передбачає усунення всіх ризиків, що в реальних умовах є неможливим. Йдеться про **усвідомлене ставлення до ризиків**, їхню ідентифікацію, відкриту комунікацію та готовність коригувати рішення за появи нових даних. Відсутність ризику не є критерієм відповідальності; таким критерієм є спосіб роботи з невизначеністю.

2. Чим RRI відрізняється від дотримання стандартів і регуляторних вимог?

Регуляторна відповідність задає **мінімально допустимий рівень**. RRI, натомість, фокусується на тих аспектах, які часто залишаються поза межами нормативів: відкладені ефекти, соціальна прийнятність, розподіл вигод і ризиків, прозорість припущень. Формальна відповідність стандартам не гарантує, що інновація є відповідальною в ширшому соціальному та етичному сенсі.

3. Якщо наслідки інновації неможливо передбачити, за що тоді можна нести відповідальність?

Відповідальність у RRI є **процесуальною**, а не результативною. Вона полягає не в гарантуванні певного результату, а в обґрунтованому виборі дій, визнанні меж знання, фіксації невизначеностей і готовності переглядати рішення. Неможливість повного прогнозу не скасовує відповідальності, а змінює її характер.

4. Чи не є RRI формою «гальмування» інновацій?

RRI часто сприймається як бар'єр через помилкове ототожнення відповідальності із забороною. Насправді RRI спрямована не на уповільнення, а на **підвищення якості інноваційних рішень**. Інновації, що ігнорують соціальні або етичні аспекти, нерідко стикаються з опором, втратою довіри або необхідністю пізніх і дорогих корекцій.

МОДУЛЬ 2 Відповідальні дослідження та інновації (RRI) 69

Сценарна задача

МОДУЛЬ 3. Відкритість і прозорість у дослідженнях та інноваціях

Вступ до модуля

Відкрита наука та прозорість дослідницьких практик розглядаються як ключові умови підвищення якості, відтворюваності та довіри до наукових результатів. У сфері нанотехнологій ці принципи мають особливе значення, оскільки складність об'єктів дослідження, міждисциплінарність методів і висока значимість результатів від контексту ускладнюють як інтерпретацію даних, так і комунікацію ризиків.

Водночас відкритість у нанонауці не є етично нейтральною. Публікація методик, даних або результатів може мати наслідки, що виходять за межі академічного середовища, включно з ризиками подвійного використання, некоректованого застосування або неправильного тлумачення. Подібна напруга виникає і в питанні інформованої згоди, особливо у випадках, коли нанотехнологічні рішення впроваджуються в медичному, освітньому або соціальному контексті за умов неповної визначеності довгострокових ефектів.

Методи цього модуля є формуванням здатності мислити відкритість і прозорість як контекстно залежні етичні практики, а не як універсальні правила. Модуль спрямований на розвиток критичного підходу до комунікації наукових результатів, управління даними та забезпечення інформованої згоди в ситуаціях, де межі знання і невизначеності є принципово рухомими критично оцінювати не лише результати, а й часові, інституційні та соціальні виміри прийняття рішень у нанотехнологічній сфері.

Лекція

«Від формальної відкритості до етичної прозорості»

Розділ 1. Чому відкритість стала етичним питанням

Упродовж тривалого часу відкритість у наукових дослідженнях розглядалася переважно як **організаційна або комунікаційна характеристика науки**: доступність публікацій, можливість ознайомлення з результатами, обмін знаннями між науковими спільнотами. Проте у сучасному науковому ландшафті, особливо в галузях високого технологічного ризику, таких як нанотехнології, відкритість дедалі більше набуває **етичного виміру**.

Цей зсув пов'язаний насамперед із кризою довіри до науки, що проявляється у проблемах відтворюваності, непрозорості дослідницьких практик, вибіркового оприлюднення результатів та зростанні суспільної скептичності щодо експертного знання. У таких умовах відкритість сама по собі добровільним жестом або основою «хорошого тону» в академічному середовищі і починає сприйматися як **умова легітимності наукової діяльності**.

Для нанотехнологій ці проблеми є особливо загострено. По-перше, більшість нанотехнологічних рішень ґрунтується на складних міждисциплінарних моделях і методах, які можна перевірити або відтворити без доступу до первинних даних, протоколів та контексту дослідження. По-друге, потенційні наслідки таких рішень часто є непрямими, відкладеними у часі або розподіленими між різними соціальними групами, що підвищує вимоги до прозорості аргументації та пояснення меж знання.

Кейс:

Показовим кейсом, який демонструє, чому відкритість у нанодослідженнях стала етичним питанням, є лонг ініціативи MIRIBEL (Minimum Information Reporting in Bio–Nano Experimental Literature). Її започаткували у відповідь на систему проблему в нанонауці та сумісних напрямів, значна частина публікацій містила результати, що формально виглядали переконливо, але виявлялися слабко відтворюваними через недостатньо описаність матеріалів, варіабельність методів характеризації, відсутність ключових метаданих і неповні протоколи. MIRIBEL фактично перетворила «відкритість» на професійний мінімум підзвітності: якщо нанематеріал не характеризовано належним чином (щонайменше двома методами, з описом дисперсності, поверхневих властивостей тощо), а експериментальні умови не подано так, щоб їх міг відтворити інший дослідник, то згаданістся не лише технічна якість статті, а й її етична легітимність як елементу доказової бази для рішень із потенційним суспільним впливом. Важливо, що дискусія навколо MIRIBEL у Nature Nanotechnology показала:

вимоги відкритості виконані. Проте набір даних не супроводжується детальним описом умов синтезу, способів підготовки зразків або параметрів вимірювань. Для зовнішнього дослідника такі дані є доступними, але неінтерпретованими: неможливо зрозуміти, які саме припущення лежали в основі експерименту і чому отримано саме такі результати. У цьому випадку відкритість створює лише оманливу прозорість, не зменшуючи асиметрію знання і не підвищуючи можливість критичної оцінки.

Прозорість виходить за межі простого доступу і спирається **зрозумілості логіки дослідження та прийняття рішень.** Вона передбачає явне формулювання припущень, обмежень, методологічних виборів і зон невизначеності. У нанотехнологіях прозорість є особливо важливою, оскільки навіть незначні технічні вибори можуть суттєво впливати на результати та їх подальше використання.

Кейс:

Інша типова ситуація виникає тоді, коли дослідники детально описують методологію, припущення і обмеження своєї роботи, але водночас наголошують, що будь-яке подальше використання результатів «не є їхньою відповідальністю». Формально прозорість дотримано: логіка дослідження зрозуміла, невизначеності пояснені. Однак у разі виникнення проблем або небажаних наслідків така позиція означає відсутність механізму відповідальності. Прозорість без підзвітності залишається декларативною: вона інформує, але не створює зобов'язань і не підтримує довіру в ситуаціях високих ставок.

Підзвітність пов'язана з готовністю брати відповідальність за наслідки дослідницьких і інноваційних рішень. Вона означає не лише можливість пояснити, як було отримано результат, а й здатність обґрунтувати, чому були зроблені саме такі вибори, і що відбувається у разі виявлення проблем або негативних наслідків. Підзвітність передбачає відкритість у площині етичної відповідальності, роблячи їх частиною соціального контракту науки.

Кейс:

*У відповідальних дослідницьких практиках ці три виміри поєднуються. Наприклад, у проекті з нанематеріалів для екологічних застосувань дослідники не лише публікують результати та відкривають дані, а й докладно пояснюють, у **яких умовах ці результати є валідними**, які сценарії використання не перевірялися і які ризики залишаються невизначеними. Крім того, команда зазалегідь описує, яким чином результати можуть бути переглянуті або скориговані у разі появи нових даних. У такій логіці відкритість забезпечує доступ, прозорість — розуміння, а підзвітність — довіру і готовність брати відповідальність за наслідки.*

Для систематизації відмінностей між цими поняттями доці
у порівняльному вигляді (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 Відкритість, прозорість і підзвітність як етичні

Критерій	Відкритість (Openness)	Прозорість (Transparency)
Ключове питання	Чи є доступ?	Чи зрозуміло?
Основний фокус	Доступ до результатів і даних	Пояснення логіки та обмежень
Типовий інструмент	Open access, open data	Методологічні пояснення і метадані
Рівень складності	Переважно технічний	Епістемічний та комунікаційний
Основний ризик	Імітація прозорості	Надмірна складність пояснень
Значення для RBI	Необхідна умова	Критично важлива практика

Порівняльний аналіз показує, що **відкритість без прозорос поверхневою**, а прозорість без підзвітності — декларати створює умови для відповідального використання знань у та високих ставок, характерних для нанотехнологій.

Тобто у дискурсі етичної відповідальності треба фокусувати формальної відкритості до **етично осмисленої прозорості**, і демонструвати результати, а й робити видимими межі знан і компромісів.

Розділ 2. Відкрити дані в нанотехнол можливості та етичні напр

Відкриті дані розглядаються як один із центральних інстру що має на меті підвищення відтворюваності досліджень, п прогресу та зміцнення довіри до результатів. У галузі нано є особливо високими, оскільки експериментальні результа великої кількості параметрів, а відсутність доступу до перв критичну перевірку та повторюваність.

Водночас відкритість даних у експериментальних не є етич практиком. Дані в цій сфері є контекстозалежними, часто о до умов отримання, що створює ризики їх некоректного ви інтерпретації поза первинним дослідницьким контекстом.

первинним дослідницьким контекстом — у регуляторних, промислових або суспільних рішеннях.

Прозорість також відіграє ключову роль у запобіганні помилковій інтерпретації відкритих даних. Дані, позбавлені пояснення припущень і обмежень, можуть створювати ілюзію об'єктивності та універсальності. У цьому сенсі недостатня прозорість не є нейтральною: вона може стримати хибними узагальненнями, неправильним рішенням і, зрештою, етичним проблемам.

Для структурування того, що саме потребує прозорості в нанотехнологічних дослідженнях, доцільно виділити кілька рівнів (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 Рівні прозорості в нанотехнологічному дослідженні

Рівень	Що зазвичай відкривається	Що часто залишається немотивним	Етичне значення
Дані	Результати вимірювань	Критерії відбору даних	Запобігання вибірковості
Методи	Опис методик	Причини вибору саме цих методів	Оцінка обґрунтованості
Параметри	Основні налаштування	Чутливість до змін параметрів	Розуміння варіабельності
Інтерпретація	Кінцеві висновки	Альтернативні пояснення	Уникнення надмірних узагальнень
Обмеження	Формальні застереження	Практичні межі застосування	Відповідальне використання

Прозорість методів тісно пов'язана з прозорістю **припущень**, які рідко є суто технічними. Припущення можуть стосуватися стабільності матеріалів, репрезентативності зразків, адекватності моделей або прийнятності певного рівня ризику. Якщо такі припущення не проговорюються, вони фактично стають прихованими нормами, що визначають подальше використання результатів без належного обговорення.

У межах відповідальної інновації важливо не лише фіксувати припущення, а й **пояснювати їхній умовний характер.** Це дозволяє іншим учасникам інноваційної екосистеми — від дослідників до регуляторів — коректно інтерпретувати результати і не переносити їх у контексти, для яких вони не призначалися (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 Типові приховані припущення та їхні етичні наслідки

Припущення	Як зазвичай формулюється	Потенційна етична проблема
Стабільність властивостей	«Матеріал поводиться стабільно»	Інноваційна деградації або накопичення

Таблиця 3.7 Типові конфлікти між відкритістю та комерціалізацією в нанотехнологіях

Сфера напруги	Як проявляється конфлікт	Потенційний етичний ризик
Публікація результатів	Затримка або заборона публікації	Втрата відтворюваності
Дані дослідників	Обмежений доступ до сирих даних	Неможливість перевірки
Методологія	Неповний опис методів	Імітація наукової завершеності
Негативні результати	Неоприлюднення невдач	Дублювання помилок
Комунікація ризиків	Мінімізація або замовчування	Підрив довіри
Постринковий моніторинг	Переклладання відповідальності	Соціальні та екологічні наслідки

Рисунок 3.1 Взаємодія відкритості та комерціалізації в межах відповідальних досліджень і інновацій

Кейс:

У практиці нанотехнологічних досліджень типовою є ситуація, коли університетська або спін-ліб команда отримує перспективні результати з вирішення прикладних потенціалом — наприклад, новий нанематеріал для сенсорів або енергетичних застосувань. Партнери з індустрії наполягають на затримці публікації результатів до завершення патентування, мотивуючи це необхідністю захисту інтелектуальної власності. Формально таке рішення є легітимним і поширеним. Однак на практиці затримка публікації часто супроводжується обмеженнями доступу не лише до комерційно чутливих деталей, а й до даних, які мають критичне значення для наукової перевірки та оцінки розробок. Зокрема, можуть не оприлюднюватися негативні результати, інформація про нестабільність матеріалу або чутливість властивостей до умов синтезу. У результаті в публічному науковому просторі з'являється

«відрізі(ограничений» образ технології — як стабільної, ефективної та готової до масштабування. Такий образ створює залучению інвестицій, але водночас звужує поле для критичного аналізу і знижує здатність суб'єктів оцінити потенційні ризики. Відкритість обмежується не пропорційно, а асиметрично — на користь комерційних інтересів. З етичної точки зору проблема полягає не у самому факті патентування або типічного вибору, а у відсутності прозорості щодо того, які саме аспекти залишаються закритими і чому. Коли обмеження доступу поширюються на інформацію, необхідну для оцінки безпеки, відтворюваності або інтерпретації наслідків, закритість перестає бути інструментом інноваційної стратегії і починає виконувати функцію зниження відповідальності. Цей кейс демонструє, що відповідальна комерціалізація в нанотехнологіях вимагає селективної відкритості: захист інтелектуальної власності може бути етично виправданим, тоді як приховування обмежень, невизначеностей або негативних результатів — ні.

Етичний аналіз показує, що відповідальна стратегія комерціалізації не полягає у максимальній закритості, а у **селективній і поясненій відкритості** (Рисунок 3.2). Це означає, що певні аспекти можуть залишатися закритими з легітимних причин (захист інтелектуальної власності, безпека, договірні зобов'язання), але такі обмеження мають бути чітко окреслені та ув ошюровратися на інформацію, критично важливу для оцінки ризиків і наслідків.

Рисунок 2.2 Концептуальна модель селективної відкритості в процесі комерціалізації нанотехнологічних досліджень

відтворюваність і повторне використання. Це «чистий» прик керованої прозорості перетворюється на «склад даних», яки для фактично переходає всю відповідальність за розуміння

Кейс:

*У міждисциплінарному європейському нанопроекті **ASINA** (Ф практичний підхід до того, як «відкривати» дані, не створюючи мостів — і як це виправляють через DMP та FAIRification-про автори називають **Data Shepherding** (супровід даних по життя літературний приклад того, що прозорість не вимагає «само- ого відповідає за метадані, версії, контроль якості, умови до демонструє, як перейти від пасток «ми виклали дані» до етич «ми забезпечили їх інтерпретовність і реюз».*

Реальні приклади з наноагалузі показують, що ключова етик полягає не в самому факті «відкрити», а в тому, чи стають д інтерпретованим, перевіряємим та придатним для від використання. MIRIBEL вчить як відповідь на дефіцит ком оцінювання nanosafety дани демонструє, що відкритість б а кейс data shepherding у ASINA показує, що етична відкрит із ролями, стандартами і готовністю до корекції. У підсумк нанотехнологіях є етично не тоді, коли «все викладено, а коли ризик хибної інтерпретації та підвищено підзвітність знанн

Рекомендована література

1. Ammor, A., Evelo, C. & Willighagen, E. FAIR assessment of nanosafet standards. Sci Data 11, 503 (2024). https://doi.org/10.1038/s41597
2. Carroll, S. R., Garba, I., Figueroa-Rodríguez, O. L., Holbrook, J., Lovett, Rzeszota, K., Rodriguez-Lonebear, D., Rowe, R., Sara, R., Walker, J. D. (2020). The CARE Principles for Indigenous Data Governance. Data I https://doi.org/10.5334/dsj-2020-043
3. European Commission. Directorate-General for Research and Innova reality: Final report and action plan from the European Commission se Publications Office of the European Union. https://doi.org/10.2777/
4. European Commission. Directorate-General for Research and Innova recommendations for implementation of FAIR practice. https://ossac innovation.ec.europa.eu/knowledge-collections-tools-and-data/pol recommendations-implementation-fair-practices_en
5. Lin, D., Crabtree, J., Dillo, I., Downs, R. R., Edmunds, R., Giaretta, D., D Jenkyns, R., Khodiyar, V., Martone, M. E., Mokrane, M., Nuzzle, V., Pe V., Stockhouse, M., Westbrook, J., & Wittenburg, P. (2020). The TRUS repositories. Scientific Data, 7, 144. https://doi.org/10.1038/s41597-

Чек-лист для самоперевірки

Призначення чек-листа

Чек-лист призначений для усвідомленої оцінки того, наскільки представлення результатів дослідження або інноваційного рішення відповідає принципам відкритості, прозорості та етичної відповідальності. Він не передбачає зовнішнього оцінювання і використовується як інструмент саморефлексії.

Питання для рефлексивної оцінки відкритості та прозорості

Напрями рефлексії	Питання для самоперевірки	Етичний сенс
Повнота представлення	Чи відображає представлена вся суттєві результати, а не лише ті, що підтверджують бажану інтерпретацію?	Запобігання вибірковості
Негативні результати	Чи враховано несподівані спроби, відхилені гіпотези або аномальні значення?	Чесність і доброчесність
Варіативність даних	Чи показано розкид, нестабільність або залежність результата від умов?	Уникнення надмірних узагальнень
Контекст отримання	Чи зрозуміло, за яких умов і з яких обмеженнями були отримані дані?	Коректна інтерпретація
Припущення	Чи явно сформульовані ключові припущення, на яких базується висновки?	Видимість невизначеностей
Межі застосування	Чи окреслено, де результати не можуть бути застосовані?	Запобігання хибному перенесенню
Дані поза контекстом	Чи можуть дані були використані без пояснень у небажаних або ризикованих сценаріях?	Превенція шкоди
Комунікація ризиків	Чи зрозумо потенційні ризики або побічні ефекти, навіть якщо вони не є центральними для дослідження?	Відповідальність перед суспільством
Формат відкритя	Чи відповідає обраний формат відкритості рівню чутливості даних?	Пропорційність відкритості
Готовність до корекції	Чи передбачена можливість уточнення або перегляду висновків у разі нових даних?	Процесуальна відповідальність

Використання цього чек-листа не передбачає наявності «правильних» або «неправильних» відповідей. **Його мета** — допомогти усвідомити, які рішення щодо відкритості та прозорості були зроблені свідомо, а які за інерцією або під тиском формальних вимог. Високий рівень етичної відповідальності проявляється не у максимальній відкритості, а в здатності аргументовано обґрунтувати обраний рівень відкритості інформації.

Пам'ятка швидкої орієнтації

«Бути прозорим — означає пояснювати»

Це короткий навігаційний інструмент для використання під час підготовки наукових звітів, статей, тез або усних доповідей. Пам'ятка допомагає швидко перевірити, чи прозорість подання матеріалу не зведена до формального розкриття результатів.

Прозорість у науковій та інноваційній діяльності означає не лише відкритий доступ до результатів, а **пояснення умов, меж і невизначеностей**, у межах яких ці результати мають сенс.

Орієнтири для швидкої перевірки

- Чи зрозуміло з поданого матеріалу, за яких умов отримано результати?
- Чи окреслено межі застосності висновків?
- Чи названо ключові припущення, від яких залежить інтерпретація?
- Чи вказано джерела невизначеності або варіативності?
- Чи очевидно, які альтернативні інтерпретації можливі?
- Чи може неспеціаліст зрозуміти, чого результати не доводять?

Типові помилки, яких варто уникати

- Подання результатів без пояснення їхніх обмежень.
- Формулювання висновків у категоріях універсальності або остаточності.
- Замовчування невизначеностей як «технічних деталей».
- Ототожнення прозорості з обсягом інформації, а не з зрозумілістю.

Методичне зауваження

Ця пам'ятка не є контрольним списком відповідності стандартам. Її призначення — підтримати **швидку рефлексію** і допомогти дослідникові усвідомлено перейти від формального представлення результатів до етично відповідальної комунікації.

Інституційна реалізація принципів відкритості, прозорості та підзвітності

(приклад Бердянського державного педагогічного університету)

Принципи відкритості, прозорості та підзвітності, розглянуті в межах цього модуля, нерідко сприймаються як абстрактні етичні орієнтири або як зовнішні вимоги, що задаються грантодавцями, журналами чи міжнародними організаціями. Проте у реальній дослідницькій практиці їхня етична значущість проявляється насамперед у тому, **як саме ці принципи перекладаються в інституційні правила, процедури та інструменти**, які структурують повсякденну діяльність дослідника.

Наведений нижче документ і приклад університетської нормативної моделі добре ілюструють цей нормативний стандарт. Його мета — **продемонструвати, яким чином етична логіка відкритості та відповідальності може бути інституційно оформлена**: від стратегічних декларацій до конкретних механізмів доступу до даних, оцінки ризиків і самоперевірної діяльності. У цьому сенсі інституційна політика розглядається як не формальне обмеження, а як інфраструктура підтримки етично зрілих дослідницьких практик.

1. Стратегічна рамка відкритої науки

Стратегічні документи з відкритої науки виконують функцію **нормативного переходу етичних принципів у довгострокові зобов'язання інституції.** Вони фіксують не лише цілі, а й логіку руху від декларацій до практичних змін у дослідницькій культурі.

Кейс БДПУ:

- *Стратегія розвитку відкритої науки в Бердянському державному педагогічному університеті: https://doi.org/10.5281/zenodo.15007030*
- *Дорожня карта впровадження стратегії розвитку відкритої науки в Бердянському державному педагогічному університеті: https://doi.org/10.5281/zenodo.15007037*
- *Перспективний план впровадження стратегії розвитку відкритої науки в Бердянському державному педагогічному університеті: https://doi.org/10.5281/zenodo.15011043*

Ініція етична роль полягає в тому, що відкритість перестає бути індивідуальним вибором окремого дослідника і набуває статусу **інституційної відповідальності**, яка враховує питання довіри, відтворюваності та соціальної легітимності досліджень. У межах модуля це співвідноситься з розумінням відкритості як умови підзвітності, а не як формального доступу.

Рефлексивний інструмент

«Етична рамка відкритості мого дослідження»

Призначення

Інструмент призначений для індивідуальної рефлексії досл
відкритість і прозорість реалізуються в його/її конкретном
етичні рішення при цьому були прийняті свідомо.

Інструкція до використання

Рекомендується працювати з кожним блоком письмово (е
Допускається повернення до інструменту на різних етапах
публікації.

Блок 1. Контекст і межі мого дослідження

Рефлексивні запитання

- Який основний контекст мого дослідження (лаборат міждисциплінарний, перехоплюючий)?
- Які ключові умови визначають отримані результати
- У яких межах мої висновки є валідними?
- Які обмеження є принциповими, а які — ситуативни

Етичний фокус: усвідомлення того, що жоден результат не

Блок 2. Моє рішення щодо відкритості

Рефлексивні запитання

- Що саме я роблю відкритим (публікації, дані, методи
- Що залишається обмеженим і чому?
- Чи є це обмеження тимчасовим або постійним?
- Чи можу я аргументовано пояснити свій вибір іншим

Етичний фокус: прозорість мотивів, а не максимізація дост

Блок 3. FAIR-вимір мого дослідження

Рефлексивні запитання

- Чи зможе інший дослідник зрозуміти мої да
- Чи достатньо метаданих для коректної інтерпретації
- Чи описано умови отримання результатів?

Сценарна задача

Головна сценарна задача модуля 3

Назва сценарної задачі

«Ми все відкрили. Чому тоді виникла недовіра?»

Контекст сценарію

Дослідницька група університету проводить проект з розробки наноструктурованого матеріалу для покращення бар'єрних властивостей пакувальних матеріалів, зокрема для харчової промисловості. Матеріал демонструє:

- зменшення проникності кисню та вологи;
- підвищення терміну зберігання продукції;
- стабільні результати у лабораторних умовах.

Проект фінансується за змішаною моделлю: частково з публічних коштів, частково – за участі приватного партнера. Відповідно до вимог грантодавця, команда:

- публікує статтю у журналі з відкритим доступом;
- розміщує експериментальні дані у відкритому репозиторії;
- надає доступ до основних протоколів синтезу.

З формального погляду проект повністю відповідає принципам відкритої науки.

Проблемна ситуація

Після публікації результатів проект привертає увагу громадських організацій, що займаються безпекою харчових продуктів. Вони звертають увагу на те, що:

- у відкритих даних відсутній аналіз деградації матеріалу в реальних умовах зберігання;
- не повністю, чому були обрані саме ці моделі міграції наночастинок;
- не зазначено, які альтернативні інтерпретації результатів розглядалися;
- обмеження дослідження сформульовані загальними фразами.

У публічному обговоренні виникає критика: *«Результати відкриті, але ми не розуміємо, наскільки їм можна довіряти.»*

Команда дослідників відповідає, що:

«Усі дані відкриті, методи оприлюднені, вимоги відкритої науки виконано. Подальші інтерпретації — не наша відповідальність».

Ключове етичне питання

? Чи є відкритість достатньою умовою етичної відповідальності, якщо логіка рішень, припущення та межі застосності результатів залишаються невидимими?

Етичний розбір

1. Де саме виникає етична проблема?

Етична проблема в цьому сценарії з'являється не там, де її зазвичай шукають у «чек-листах» відкритої науки. Формально команда справді виконала ключові вимоги: опублікувала статтю у відкритому доступі, розмістила дані у репозиторії, надала базові протоколи. Проте недоліки виникли тому, що для зовнішньої аудиторії залишилися непрозорими ті елементи, які визначають науково надійність результатів: логіка вибору моделей, межі застосовності, невизначеності, а також те, які альтернативні трактування розглядалися і чому від них відмовилися. Відтак конфлікт розгортається не навколо доступу до інформації, а навколо її інтерпретності та можливості перевірки сенсу, а не лише файлів.

2. Як це пояснюється через розрізнення «відкритість — прозорість — підзвітність»?

Відкритість у цьому кейсі реалізована як технічний і організаційний факт: дані доступні, публікація відкрита, протоколи частково наведені. Однак прозорість вимагає іншого рівня роботи — пояснення причин, чому указано саме такі дослідницькі рішення. Тут, за зауваженнями громадських організацій, саме цього і бракує: немає зрозумілого обґрунтування вибору моделей міграції наночастинок, немає розбору того, що відомої і що невідомо про деградацію матеріалу в реальних умовах зберігання, а «обмеження» сформульовані так загально, що не допомагають інтерпретувати результати. Підзвітність як відповідальність не у факті публікації, а у готовності відповідати на обґрунтовані запитання про наслідки та коректність застосування результатів. Коли команда говорить, що «подальші інтерпретації — не наша відповідальність», вона фактично відмовляється від підзвітності, перекладаючи ризики неправильного використання знання на тих, хто не брав участі в конструюванні цього знання.

3. Яка типова пастка відкритості тут спрацьовує?

Сценарій демонструє пастку, коли відкритість трактують як автоматичний доказ етичності. У професійному мисленні це вигладає логічно: якщо дані відкриті, то «все чесно», отже, претензії мають бути безпідставними. Але на практиці відкрита публікація і відкриті файли не гарантують, що інші учасники зможуть відтворити логіку дослідження або коректно оцінити ступінь невизначеності. Друга пастка полягає в тому, що відкритість використовується як риторичний механізм зняття

Набір сценарних задач «Подумай сам»

Сценарна задача 1

Дослідницька група викладає у відкритий репозиторій повний набір експериментальних даних з нанематеріалів: сирі вимірювання, спектри, зображення, таблиці. Методами мінімальні, пояснення вибору параметрів і критеріїв відбору даних відсутні. Формально вимоги відкритої науки виконані.

Подумай сам

- Чи можна вважати таку практику етично прозорою?
- У чому різниця між доступністю і зрозумілістю в цьому випадку?
- Хто фактично несе ризик некоректної інтерпретації?

Сценарна задача 2

У статті з нанотехнологій автор згадують, що дослідження має обмеження, але не конкретизують їх, вважаючи це «очевидним для фахівців». Після публікації результати активно цитуються в інших галузях, де ці обмеження не враховуються.

Подумай сам

- Чи є загальне формулювання обмежень достатнім?
- Для кого саме має бути зрозуміло поясненим — лише для експертів чи ширше?
- Де проходить межа відповідальності автора за подальше використання результатів?

Сценарна задача 3

Під час дослідження команда отримує низку негативних і суперечливих результатів, які не підтверджують основну гіпотезу. Ці дані не включаються до публікації, оскільки вони «не додають новизни» і можуть ускладнити сприйняття роботи. У відкритому доступі публікуються лише «чисті» результати.

Подумай сам

- Чи є така вибірковість формою етичної проблеми?
- Як це впливає на довіру та відтворюваність?
- Чи може відкритість без повноти бути оманливою?

Літературні кейси

Літературний кейс (за романом Казуо Ішіґу

У романі Казуо Ішіґуро події розгортаються у світі, де штуч
стали звичною частиною життя дітей. Клара — одна з таки
для емоційної підтримки, спостереження та прогнозуван
навчається інтерпретувати людські емоції, поведінку і соц
виконує не доступну до повної інформації про реальни
і рішень, у межах яких вона функціонує.

Ключовим моментом роману є поступове розкриття того, а
складного процесу, пов'язаного з медичною та соціальною
дитини (Джозі). Рішення про використання технології ухва
батьками, інженерами, лікарями, — для неї цьому межі кас
та альтернатив залишаються частково непрозорими. Вона
«прийнятної необхідності». Навіть коли технологія безпосе
майбутніх дитини, відсутня повна симетрія інформації: ні ді
володіють цілісним уявленням про те, що саме відбувається

Роман показує ситуацію, у якій формальна згода на застос
не дорівнює інформованій згоді. Прозорість замінюється з
виглядають нормалізованими, бо «так роблять усі», а відп
компенсується ритуалом турботи та прогресу. Особливо
як система, здатна до спостереження і маніпуляції інтуїцією, в
уважною до вразливості дитини, як інституції, які ухвалюю

Цей літературний сценарій дозволяє розглянути прозорість
даних, а як **доступ до смислу** рішень. У контексті нанотехн
виникає тоді, коли складні технічні дані «викладені» в публ
вразливим групам (дітям, пацієнтам, залежним користувач
розумінню дослідників наслідків, а етична проблема не в
ефективності, інновацій або «кращих можливостей».

Питання для рефлексії:

- Чи можна вважати згоду етично значущою, якщо суб
до повної картини наслідків?
- Хто має відповідальність за прозорість у складних т
розробник, медіатор чи користувач?
- Чи є турбота достатньою мотивацією виправдання д
- Як відрізнити соціальну нормалізацію технології від і

121

МОДУЛЬ 4. Подвійне використання та запобігання шкоді

Вступ до модуля

Нанотехнології належать до категорії високоризикових і водночас високопотенційних технологій, результати яких можуть використовуватися як з благими, так і з шкідливими цілями. Подвійне використання (dual-use) у цій сфері не обмежується військовими або безпековими застосуваннями, а охоплює широкий спектр можливих сценаріїв — від неконтрольованого екологічного впливу до порушення автономії людини через нові матеріальні або сенсорні системи.

Особливістю dual-use у нанотехнологіях є те, що ризики часто виникають не на етапі застосування, а вже на рівні знань, методів або принципів проєктування. Це ускладнює традиційні підходи до запобігання шкоді, які спираються на чітке розмежування між «дослідженням» і «використанням». У багатьох випадках шкода може бути наслідком формально правильних, але контекстно нечутливих рішень.

Метою цього модуля є формування здатності ідентифікувати потенційні сценарії подвійного використання та аналізувати шкоду як системний, а не випадковий результат технологічного розвитку. Модуль спрямований на розвиток етичного міркування, що дозволяє оцінювати ризики не лише з позиції намірів, а й з огляду на можливі наслідки, масштаби та контексти застосування нанотехнологічних рішень.

122

Лекція

«Подвійне використання без драматизації: як мислити про ризики»

Розділ 1. Подвійне використання як структурна властивість сучасних технологій

Поняття подвійного використання традиційно асоціюється з окремими чутливими галузями або з очевидно небезпечними технологіями. Однак у сучасних наукоємних сферах, зокрема в нанотехнологіях, подвійне використання слід розглядати не як виняток, а як структурну характеристику технологічного розвитку. Більшість інноваційних рішень є етично амбівалентними за своєю природою: ті самі властивості, що забезпечують користь, можуть за інших умов спричиняти шкоду.

На відміну від класичного уявлення про dual-use як про навмисне зловживання технологіями, сучасний підхід акцентує увагу на непередбачених і контекстних сценаріях використання. У нанотехнологіях це проявляється особливо чітко, оскільки матеріали й системи на нано-рівні можуть поводитися інакше при зміні масштабів, середовища або способу інтеграції в продукт чи систему. Таким чином, потенціал шкоди не обов'язково пов'язаний зі злим наміром; він може виникати внаслідок перенесення технології в новий контекст без належної оцінки наслідків.

Кейс:

Технологія глибокого УФ-детектування (solar-blind UV) розвивається як перспективний напрям для цивільних завдань: моніторинг полум'я, контроль промислових процесів, екологічні сенсори, наукові вимірювання. Проте ті самі фізичні переваги (чутливість у «solar-blind» діапазоні, робота за високих температур, стійкість до жорстких умов) роблять Ga_2O_3-фотодетектори релевантними для задач раннього виявлення та супроводу пусків ракет. У цьому прикладі «подвійність» випливає безпосередньо з фізичних властивостей матеріалу, оскільки ті самі параметри детектування, що забезпечують ефективність у цивільних застосуваннях, роблять технологію релевантною і для інших, чутливіших сфер використання.

Важливою особливістю подвійного використання є його динамічний характер. Те, що на ранньому етапі досліджень виглядає як суто науковий або нейтральний результат, з часом може набути прикладного значення з істотними соціальними, екологічними або безпековими наслідками. Це означає, що етична відповідальність не обмежується моментом створення технології, а розгортається в часі разом із її розвитком і поширенням.

124

Кейс:

Багато наночастинок створюють користь саме завдяки властивостям, які водночас є джерелом ризику: висока реакційна здатність, мала розмірність, взаємодія з біомембранами. Тому «подвійність» може проявлятися як перехід від терапевтичного/діагностичного застосування до небажаних ефектів у довкіллі або при виробничій експозиції — без будь-якого злого наміру, лише через зміну контексту й масштабу

Подвійне використання розглядається як аналітична рамка, що дозволяє перейти від бінарного мислення «безпечне-небезпечне» до більш складного бачення технологічних рішень як процесів з відкритими наслідками. Такий підхід формує готовність працювати з невизначеністю, оцінювати альтернативні сценарії та визнавати обмеженість власного контролю — ключові складові етичної відповідальності в сучасній науковій і інженерній практиці.

CASE 1: НАНОПОРИСТІ МАТЕРІАЛИ | CASE 2: НАНОЧАСТИНКИ СРІБЛА | CASE 3: Ga_2O_3, SOLAR-BLIND UV-ДЕТЕКТОРИ

ЦІЛЬОВИЙ КОНТЕКСТ | СПІЛЬНІ ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ | АЛЬТЕРНАТИВНИЙ / ВІЙСЬКОВИЙ КОНТЕКСТ

Рис. 4.1 Подвійне використання як структурна властивість нанотехнологій

Розділ 2. Типи потенційної шкоди: що саме означає «запобігання»

У дискусіях про подвійне використання поняття шкоди часто використовується узагальнено, без достатнього розрізнення її форм і механізмів виникнення. Такий підхід ускладнює етичний аналіз, оскільки створює ілюзію, що шкода є або

очевидною, або однозначно пов'язаною зі зловмисними на…
ж більшість етично проблемних наслідків інновацій виника…
нашкодити, у результаті складної взаємодії технології з соц…
та інституційними контекстами.

Шкода розглядається як **багатовимірне явище**, яке може м…
часову динаміку та ступінь видимості. Особливо в нанотех…
не є миттєвою або локалізованою: вона може накопичуват…
опосередковано або ставати помітною лише після масшта…
чи її перенесення в інший контекст застосування.

Важливо також підкреслити, що запобігання шкоді не озна…
У багатьох випадках ідеться про **роботу з невизначеністю**,
негативних наслідків або обмеження їх масштабу. Такий пі…
регуляторної логіки «дозволено - заборонено» і вимагає ети…
прийнятного рівня ризику.

Для аналітичної чіткості доцільно розрізняти кілька типів п…
які можуть бути релевантними для нанотехнологічних ріше…

Таблиця 4.1 Типи потенційної шкоди в контексті нанотехно…

Тип шкоди	Загальна характеристика	Приклади прояву
Фізична / медична	Негативний вплив на здоров'я людини	Токсичність наночастинок, побічні ефекти
Екологічна	Вплив на екосистеми та довкілля	Накопичення в ґрунті… воді
Соціальна	Посилення нерівностей або виключення	Нерівний доступ до технологій
Інституційна	Підрив довіри до науки або регуляції	Скандали, втрати легітимності
Безпекова	Можливість небажаного вторинного використання	Використання поза первинним призначен…
Епістемічна	Спотворення знання або його інтерпретації	Хибні узагальнення, псевдонадійність

Представлена типологія дозволяє побачити, що шкода не…
або безпековими наслідками. Наприклад, **епістемічна шко…**
некоректно інтерпретованих результатів — може опосеред…
до неправильних рішень у політиці, медицині або промисло…
інституційна шкода, пов'язана з втратою довіри, часто є на…
або непояснених рішень, навіть якщо формально технологі…
вимогам безпеки.

З етичної точки зору важливо також розрізняти **пряму шко…**
бездіяльність або ігнорування. Відмова від аналізу потенці…

127

продуктом, скільки з умовами роботи з матеріалом на етапах синтезу та обробки. Потенційна шкода в цьому випадку стосується передусім працівників лабораторій і виробництв, які можуть зазнавати хронічної інгаляційної експозиції. Така шкода не є миттєвою, не завжди має очевидні симптоми і часто залишається «невидимою» в публічному дискурсі про користь технологій. Цей кейс демонструє, що запобігання шкоді у сфері нанотехнологій часто означає управління умовами контакту, а не відмову від матеріалу як такого. Етична відповідальність тут реалізується через інженерні рішення, організаційні протоколи та постійний моніторинг, які зменшують ймовірність і масштаб потенційних негативних наслідків.

Розглянуті кейси показують, що шкода в контексті подвійного використання є багатовимірною і рідко зводиться до простого протиставлення «безпечне / небезпечне». Вона може проявлятися як невизначеність, як наслідок сценарію використання або як результат тривалої експозиції в професійному середовищі. Відповідно, запобігання шкоді полягає не в пошуку абсолютної безпеки, а у здатності вчасно розпізнавати різні типи потенційних ризиків і працювати з ними до того, як вони стануть незворотними.

Розділ 3. Формальна безпека і етична відповідальність: межі регуляторного підходу

У практиці наукових досліджень і технологічних розробок питання запобігання шкоді часто розглядається крізь призму регуляторної відповідності. Дотримання стандартів безпеки, нормативних вимог і процедур сертифікації зазвичай сприймається як достатня умова етично прийнятної діяльності. Однак у випадку складних і швидкозмінних технологій, зокрема нанотехнологій, така логіка виявляється обмеженою.

Регуляторна безпека орієнтована насамперед на **відомі та вже ідентифіковані ризики**. Вона ґрунтується на наявних наукових даних, усталених процедурах і чітко визначених порогових значеннях. Такий підхід є необхідним, але він не здатен повністю охопити ситуації, у яких ризики є новими, контекстними або відкладеними. У цих випадках формальна відповідність стандартам може створювати **хибне відчуття захищеності**, тоді як потенційна шкода залишається поза увагою.

Етична відповідальність, на відміну від регуляторної безпеки, не обмежується виконанням наявних правил. Вона передбачає **рефлексивне ставлення до наслідків**, включно з тими, які ще не повністю зрозумілі або не формалізовані в нормативних документах. У цьому сенсі етична відповідальність починається там, де закінчується регуляторна визначеність.

Особливо важливою є так звана «сіра зона» між дозволеним і відповідальним. Саме в цій зоні виникають ситуації, коли технологія формально відповідає вимогам безпеки, але її подальше використання може призводити до небажаних соціальних,

129

Ситуація	Формальний статус	Етичний виклик
Міждисциплінарний перенос	Регуляція фрагментарна	Втрата контексту

Отже, регуляторна безпека є **необхідним, але недостатнім елементом запобігання шкоди**. Формування етичної відповідальності вимагає здатності бачити межі нормативних підходів, працювати з «сірою зоною» і визнавати, що відповідальність за наслідки інновацій не знімається самим фактом дотримання правил.

Розділ 4. Ризик-орієнтоване мислення без катастрофізації

Обговорення подвійного використання неминуче пов'язане з аналізом ризиків. Проте саме на цьому етапі часто виникає дві крайнощі: або ризики **ігноруються** як надто гіпотетичні, або, навпаки, **гіперболізуються** до рівня катастрофічних сценаріїв. Обидві стратегії є етично проблемними, оскільки не сприяють відповідальному прийняттю рішень і підривають довіру до наукової аргументації.

Ризик-орієнтоване мислення розуміється не як прогнозування найгірших сценаріїв, а як **структурована робота з невизначеністю**. Йдеться про здатність розрізняти різні типи ризиків, оцінювати їхню ймовірність і потенційні наслідки, а також усвідомлювати межі власного знання. Такий підхід відрізняється як від оптимістичного редукціонізму («нічого поганого не станеться»), так і від спекулятивної етики, що оперує фантастичними загрозами без емпіричного підґрунтя.

У контексті нанотехнологій особливо важливо розмежовувати **обґрунтовані ризики**, які випливають із відомих властивостей матеріалів або процесів, і **гіпотетичні припущення**, що не мають достатньої наукової підтримки. Етична відповідальність не вимагає однакового реагування на всі можливі ризики, але вимагає **прозорого пояснення**, чому одні з них беруться до уваги, а інші — ні.

Ключовим елементом ризик-орієнтованого мислення є також відмова від бінарної логіки «безпечне / небезпечне». Ризики в реальних інноваційних процесах зазвичай розташовуються на **континуумі**, де існують зони високої впевненості, зони часткової визначеності та зони суттєвої невизначеності. Саме в останніх етична рефлексія є найбільш необхідною, навіть якщо регуляторні механізми ще не сформовані.

Для систематизації підходів до роботи з ризиками доцільно зіставити різні типи реакцій на невизначеність і їхні етичні наслідки (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 Підходи до ризиків і їхні етичні наслідки

Підхід	Типова позиція	Наслідки для відповідальності
Ігнорування ризиків	«Доказів шкоди немає»	Перенесення відповідальності
Катастрофізація	«Наслідки можуть бути фатальними»	Втрата наукової коректності

132

Таблиця 4.6 Типові аргументи уникнення відповідальності та їхні етичні обмеження

Аргумент	Чому здається переконливим	Етична проблема
«Це лише фундаментальні дослідження»	Відсутність прямого застосування	Ігнорування майбутніх траєкторій
«Регуляція цим займеться»	Делегування контролю	Втрата превентивності
«Немає доказів шкоди»	Формальна коректність	Ігнорування невизначеності
«Це не моя компетенція»	Обмеження ролі	Розрив відповідальності
«Ми діяли за правилами»	Юридична захищеність	Етична недостатність

Кейс:

Комерційна супутникова зйомка довго позиціонувалася як цивільний інструмент для картографії, агросектору, екологічного моніторингу, оцінки наслідків стихійних лих і журналістських розслідувань. Водночас у війнах XXI століття такі дані стали елементом розвідувального контуру: від оцінки переміщень і логістики до уточнення цілей та аналізу результатів ураження. Показовим є те, що доступ до комерційної супутникової інформації може регулюватися політичними рішеннями, і це безпосередньо впливає на бойові спроможності сторін. Отже, «комерційне» тут не означає «етично нейтральне»: інфраструктура даних, контракти доступу й правила поширення перетворюються на практики, де відповідальність не можна звести ні до одного учасника, ні до одного етапу життєвого циклу технології.

Відповідальність за запобігання шкоді слід розглядати як **процес, розподілений у часі та між учасниками**, а не як одноразове зобов'язання або суто регуляторна вимога.

Розділ 6. Стратегії запобігання шкоді: від передбачення до корекції

Запобігання шкоді в умовах подвійного використання не може зводитися до одного універсального механізму або до сукупності формальних обмежень. У контексті нанотехнологій ефективні стратегії запобігання шкоді є **контекстними, багаторівневими та динамічними**, оскільки ризики можуть змінюватися залежно від етапу життєвого циклу технології, способу її інтеграції та масштабування.

Ключовою передумовою відповідального підходу є усвідомлення того, що **запобігання шкоді не обов'язково означає відмову від інновацій**. Частіше йдеться про своєчасне коригування рішень, обмеження певних траєкторій використання або

делегувалася іншим учасникам. Простір для проміжних, про…
наприклад, диференційованої публікації або пояснення меж…
довгий час залишався заблокованим саме через ці когнітив…

Кейс:

Розвиток технологій gene drive на основі CRISPR привернув з…
потенціалу контролю переносників хвороб і управління попу…
Водночас із самого початку було зрозуміло, що ці технології…
незворотні наслідки, зокрема через можливість поширення…
і національних кордонів. У реальних наукових і політичних ди…
специфічну пастку мислення. Аргумент «технологічний розви…
часто використовувався для зняття питання відповідальнос…
користь абстрактної логіки прогресу. Якщо технологія все од…
застереження подаються як затримка або як справа регулят…
постфактум. Додатково невизначеність щодо екологічних на…
не як підстава для обережності, а як аргумент проти будь-яки…
обмежень. Цей кейс демонструє, що одна з найстійкіших пас…
***запереченні самого факту вибору**. Коли розвиток технології…*
і позаіндивідуальний процес, відповідальність розчиняється…
а етична рефлексія зводиться до формальних дозволів або в…
реакцій. Саме така логіка робить dual-use ризики системним…

Важливо не лише назвати ці пастки, а й показати, **які етичн…**
їм протистояти (таблиця 4.9).

Таблиця 4.9 Типові пастки мислення та етичні альтернатив…

Пастка мислення	Типовий аргумент	Чому переконли…
Регуляторний редукціонізм	«Це дозволено»	Знімає відповідальність
Апеляція до невизначеності	«Немає доказів шкоди»	Формально коректний
Делегування відповідальності	«Хтось інший це вирішить»	Зменшує тиск
Катастрофізація	«Наслідки будуть фатальними»	Емоційна сила
Технологічний детермінізм	«Розвиток неминучий»	Знімає вибір
Моральна нейтральність науки	«Наука поза етикою»	Традиційна пози…

Усвідомлення цих пасток є ключовим елементом формува…
Воно дозволяє не лише розпізнавати проблемні аргументи…

138

Аналітичний гайд

Як розпізнати dual-use потенціал у власному дослідженні

Призначення

Надати рамку рефлексивного аналізу, яка дозволяє виявляти потенціал подвійного використання у власному дослідженні без апеляції до спеціалізованих знань у сфері безпеки чи оборони. Гайд орієнтований на усвідомлення амбівалентності технологій, а не на їх класифікацію як «небезпечних».

Вихідна позиція

Dual-use потенціал не є винятковою властивістю окремих технологій. У сучасних наукоємних галузях він часто є побічним наслідком корисних властивостей матеріалів, методів або результатів. Тому питання полягає не в тому, чи є дослідження dual-use, а за яких умов і в яких контекстах воно може таким стати.

1. Орієнтири для виявлення чутливих елементів дослідження

Початковий крок аналізу полягає не в оцінці намірів, а у виявленні **чутливих характеристик** самого дослідження:

- Чи має дослідження властивості, які можуть посилювати ефективність, проникність, стабільність або контроль?
- Чи передбачає воно нові матеріальні властивості, які змінюють поведінку систем у масштабі?
- Чи є результати легко відтворюваними або масштабованими поза первинним контекстом?
- Чи можуть окремі елементи бути використані незалежно від первинної мети дослідження?

Наявність таких ознак не означає проблеми, але вказує на потребу подальшої рефлексії.

2. Питання для аналізу можливих небажаних сценаріїв

На цьому етапі важливо відійти від бінарної логіки «користь / шкода» і перейти до сценарного мислення:

- У яких інших контекстах можуть бути застосовані отримані результати?

140

Чек-лист для самоперевірки

Призначення

Індивідуальний інструмент рефлексії перед публікацією, презентацією або впровадженням результатів дослідження чи інноваційного рішення. Чек-лист допомагає усвідомити потенційні ризики подвійного використання та межі власної відповідальності.

1. Можливість використання результатів поза первинною метою

- Чи можуть результати мого дослідження бути застосовані в інших контекстах, ніж ті, для яких вони створювалися?
- Чи існують сценарії, у яких ці результати можуть бути використані без мого наміру або відома?
- Чи може користь для однієї сфери означати ризики або шкоду для іншої?
- Чи усвідомлюю я, які саме властивості технології роблять такі альтернативні сценарії можливими?

2. Рівень деталізації технічної інформації

- Чи є рівень технічної деталізації пропорційним меті публікації або презентації?
- Чи можуть окремі технічні деталі бути використані самостійно, без необхідного контексту?
- Чи є в матеріалах пояснення того, за яких умов результати є валідними, а за яких ні?
- Чи не створює надмірна деталізація ілюзію повного контролю або універсальності?

3. Процедурні та контекстуальні запобіжники

- Чи описані в роботі обмеження застосування результатів?
- Чи зафіксовано ключові невизначеності або прогалини знань?
- Чи передбачено можливість перегляду оцінки ризиків у разі масштабування або зміни контексту?
- Чи зрозуміло, які рішення є експериментальними, а які стабільно підтвердженими?

148

ЗОНА НЕВИЗНАЧЕНОСТІ
I. ЯДРО РИЗИКУ
II. ПОЛЕ МОЖЛИВИХ ЗАСТОСУВАНЬ
III. ПОТЕНЦІЙНІ НАСЛІДКИ
IV. МЕЖІ КОНТРОЛЮ І ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ
ЯДРО ДОСЛІДЖЕННЯ
РЕФЛЕКСИВНІ ПИТАННЯ

Навігаційна карта осмислення подвійного використання: простір для рефлексії, а не перелік готових відповідей

Сценарна задача

«Формально безпечно, але контекст змінюєтьс…»

Контекст сценарію

Дослідницька група працює над створенням наноструктур…
зменшує зношування та корозію металевих поверхонь. Пе…
— підвищення довговічності промислового обладнання та…
на технічне обслуговування.

Матеріал:

- демонструє високу хімічну стабільність;
- не виявляє токсичності у стандартних лабораторних…
- відповідає чинним нормам безпеки для промислово…

Проєкт проходить усі необхідні експертизи, публікується у…
викликає інтерес з боку промислових партнерів.

Ключовий поворот (подвійне використання)

Через деякий час з'ясовується, що ті самі властивості мате…
стабільність, зменшене тертя та стійкість до агресивних се…
привабливим для застосування у військовій техніці та спец…
де підвищена зносостійкість може мати безпекові наслідки…

Це застосування:

- не заборонене чинним законодавством;
- формально не суперечить умовам публікації;
- не було прямою метою дослідження.

Дослідники дізнаються про новий напрям використання пі…

Проблемна ситуація

У команді виникає дискусія:

- частина дослідників вважає, що відповідальність за… публікації, адже всі вимоги безпеки дотримані;
- інші зазначають, що ігнорування можливих наслідків… використання є етично проблемним, навіть якщо пр…

150

- керівник проєкту наголошує, що жодних формальних порушень не допущено і додаткові дії можуть зашкодити співпраці з партнерами.

Ключове етичне питання

? *Чи є формальна безпека та відсутність заборон достатньою підставою для зняття етичної відповідальності в умовах потенційного подвійного використання?*

Повний етичний розбір

«Формально безпечно, але контекст змінюється»

Цей сценарій на перший погляд не виглядає проблемним. Дослідницька група працює над матеріалом, який має очевидну цивільну й економічно доцільну мету — зменшення зношування та корозії промислового обладнання. Матеріал пройшов стандартні лабораторні випробування, не виявив токсичності, відповідає чинним нормам безпеки та був оприлюднений у відкритому науковому просторі. Формально всі етапи дослідження виконано коректно, без порушень і з дотриманням вимог регуляції та академічної доброчесності.

Саме тому цей кейс є показовим: він демонструє, що етична проблема може виникати не через помилки, зловмисні наміри чи недотримання правил, а через **зміну контексту використання** технології після її створення і публікації.

Чому це не «класичний» кейс подвійного використання

У цьому випадку відсутні елементи, які зазвичай асоціюються з dual-use у спрощеному розумінні. Дослідники не працювали над військовим проєктом, не мали наміру створювати технологію для шкідливих або насильницьких цілей і не порушували жодних законів чи етичних норм. Первинна мета дослідження була соціально корисною, а сам матеріал не є «небезпечним» за своєю природою.

Однак саме ця «нормальність» і робить сценарій важливим з етичної точки зору. Він ілюструє, що подвійне використання в сучасних технологіях часто є **не винятком, а наслідком універсальних функціональних властивостей матеріалу**. Ті ж характеристики, які роблять матеріал привабливим для цивільної промисловості, виявляються релевантними і для військових або безпекових систем. Подвійність тут не додається ззовні — вона випливає з самої логіки технологічного розвитку.

Який тип шкоди тут стає релевантним

Важливо підкреслити, що у цьому сценарії не йдеться про безпосередню фізичну або токсикологічну шкоду. Матеріал не стає «небезпечним» у звичному сенсі. Потенційна

153

Набір сценарних задач «Подумай сам»

Сценарна задача 1

Наноматеріал розроблено для зменшення тертя у промислових механізмах, що дозволяє суттєво економити енергію та зменшувати зношування деталей. Після публікації з'ясовується, що ті самі властивості можуть підвищувати ефективність рухомих елементів у системах, пов'язаних із силовими або оборонними застосуваннями. Розробники не планували такого використання і не беруть участі в подальших проєктах.

Подумай сам

- Чи змінюється етична оцінка матеріалу через зміну контексту?
- Яку роль відіграє початковий намір дослідника?
- Чи є межа між «нейтральною технологією» і відповідальністю за її потенціал?

Сценарна задача 2

Проєкт із нанопокриттів повністю відповідає чинному законодавству та не підпадає під жодні обмеження dual-use. Водночас дослідники усвідомлюють, що регуляторні норми відстають від технологічного розвитку. Команда вирішує не порушувати тему можливих вторинних застосувань, щоб «не створювати зайвих проблем».

Подумай сам

- Чи є регуляторна відповідність достатньою підставою для етичного спокою?
- Які ризики виникають, коли етика підміняється формальним виконанням вимог?
- Чи може мовчання бути формою етичного рішення?

Сценарна задача 3

На момент впровадження технології жодних негативних наслідків не зафіксовано. Усі тести підтверджують безпечність, а переваги є очевидними. Однак дослідники визнають, що довгострокові та системні ефекти наразі невідомі, а накопичення змін може проявитися лише через роки.

Подумай сам

- Чи є відсутність шкоди достатнім аргументом для дії?
- Як відрізнити обґрунтовану обережність від паралічу через невизначеність?
- Яку роль відіграє час у моральній оцінці рішень?

154

Сценарна задача 4

Після публікації результатів команда дізнається, що матеріал використовується у сфері, де навіть незначні покращення технічних характеристик можуть змінювати баланс безпеки.

Дослідники наголошують, що:

- вони не контролюють застосування;
- рішення ухвалюють інші учасники;
- технологія сама по собі не є шкідливою.

Подумай сам

- Чи можлива відповідальність без контролю?
- Які форми відповідальності залишаються доступними досліднику?
- Чи є дистанціювання етично нейтральним?

Сценарна задача 5

Щоб уникнути спекуляцій і негативного резонансу, команда вирішує мінімізувати публічні коментарі щодо потенційних ризиків подвійного використання, обмежуючись технічним описом властивостей матеріалу. Інформація є коректною, але дуже вузькою.

Подумай сам

- Чи може стратегічне мовчання зменшувати ризики?
- Де проходить межа між відповідальною комунікацією і замовчуванням?
- Як це впливає на довіру до науки?

Сценарна задача 6

«Подвійне використання як побічний ефект прогресу»

У команді лунає аргумент, що будь-яка технологія потенційно може мати подвійне використання, а отже, немає сенсу акцентувати на цьому увагу — інакше розвиток науки стане неможливим. Цей аргумент знаходить підтримку серед частини дослідників.

Подумай сам

- Чи є універсальність dual-use аргументом проти етичної рефлексії?
- У чому різниця між неминучістю ризиків і відповідальністю за них?
- Як уникнути як драматизації, так і знецінення ризиків?

Літературні кейси

Літературний кейс (за романом Курта Вонн… для кішки»)

У романі Курта Воннеґута центральним науковим об'єктом… форма льоду, створена вченим Феліксом Гонніккером як а… рішення прикладної проблеми (швидке заморожування по… не ставить перед собою жодної військової або руйнівної ме… наслідки відкриття і не бере участі в подальшому використ… Для нього «лід-дев'ять» — лише інтелектуальна іграшка, ще… «чистої науки», відокремленої від соціального контексту.

Однак у романі поступово з'ясовується, що ця речовина ма… властивість: потрапивши у воду, вона ініціює ланцюгову кр… води. Через серію людських рішень, випадковостей і безві… рук у руки «лід-дев'ять» зрештою призводить до глобально… біосфери Землі. Важливо, що жоден із ключових учасників… знищити світ. Катастрофа є результатом поєднання науков… відсутності відповідальності за end-of-life технології та соці… до потенційних наслідків.

У цьому сценарії dual-use проявляється у своїй найрадикал… створене без злого умислу і без прикладної мети, виявляєт… **із виживанням**. Роман показує, що шкода може бути не «не… застосуванням» технології, а **прямим наслідком її існуванн…** механізмів відповідальної оцінки ризиків. Воннеґут навмис… проблема не в «поганих людях», а в культурі науки, яка вва… закінчується на моменті відкриття.

Для етики технологій цей кейс є принциповим, оскільки ві… якою поділ на «фундаментальні» й «прикладні» дослідженн… для кішки» ставить незручне питання: чи має право на існу… неможливо забезпечити безпечний життєвий цикл — від ст… навіть якщо воно є інтелектуально елегантним і науково ко…

Питання для рефлексії:

- Чи може «чиста» наука бути етично нейтральною, які… принципово несуть екзистенційний ризик?
- Хто несе відповідальність за end-of-life технології, які… в їх застосуванні?
- Чи існують межі допустимого знання — і хто має пра…
- Як відрізнити відповідальну наукову свободу від стру… безвідповідальності?

МОДУЛЬ 4 Подвійне використання та запобігання шкоді

МОДУЛЬ 5. Справедливість та інклюзивність у нано-технологіях

Вступ до модуля

Запровадження нанотехнологій у різні сфери життя супроводжується не лише технічними змінами, а й трансформаціями соціальних відносин, форм доступу до ресурсів і розподілу ризиків та вигод. Хоча інновації часто подаються як універсальне благо, на практиці їхні наслідки можуть виявитися нерівномірно розподіленими між різними соціальними групами, особливо вразливими або маргіналізованими.

Питання справедливості та інклюзивності в нанотехнологіях виходять за межі формального доступу до технологій. Вони охоплюють проблеми визнання, морального статусу, участі у прийнятті рішень і можливості відмови від технологічних втручань. Особливо складними є ситуації, де критерії включення або виключення встановлюються на основі технічних показників, стандартів або алгоритмічних оцінок, що можуть виглядати нейтральними, але мати глибокі етичні наслідки.

Методи цього модуля є формуванням здатності аналізувати нанотехнологічні інновації з позиції соціальної справедливості та інклюзії, розглядати як лише їхню ефективність, а й вплив на гідність, автономність і рівність різних груп. Модуль спрямований на розвиток етичного мислення, яке дозволяє виявляти приховані форми нерівності та критично оцінювати соціальні наслідки технологічного прогресу.

Лекція

«Інклюзія як фактор якості технологічних рішень»

Розділ 1. Що означає справедливість у контексті науки та технологій

Поняття справедливості в наукових і технологічних дослідженнях часто інтерпретується надто вузько — як дотримання формальних принципів рівності або відсутність дискримінації. У такому розумінні справедливість ототожнюється з однаковими правилами для всіх учасників процесу. Проте в контексті сучасних наукоємних галузей, зокрема нанотехнологій, цього підходу виявляється недостатньо для адекватної етичної оцінки.

Етична справедливість не зводиться до формальної рівності. Вона передбачає **аналіз того, як результати наукової та інноваційної діяльності фактично впливають на різні групи**, з урахуванням їхніх вихідних умов, вразливості і доступу до ресурсів. Однакове технологічне рішення, застосоване в різних соціальних або географічних контекстах, може породжувати істотно різні наслідки, навіть якщо формально всі процедури були дотримані.

У цьому сенсі справедливість слід розглядати не як кінцевий стан, який можна «досягти» шляхом виконання певних вимог, а як **процес постійного співвідношення рішень і змін наслідків**. Такий соціотехнічний підхід є особливо важливим для галузей, де результати досліджень швидко виходять за межі лабораторії і вбудовуються в широкі соціально-економічні системи.

У нанотехнологіях питання справедливості проявляється, зокрема, у виборі дослідницьких пріоритетів, дизайні технологічних рішень і способах їх подальшого впровадження. Наприклад, технологія, спрямована на підвищення ефективності виробництва або медичних продуктів, може одночасно створювати додаткові ризики для тих груп, які не отримують прямої користі, але зазнають екологічного або соціального навантаження (рисунок 5.1). У таких випадках формальна відповідність стандартам не гарантує справедливого розподілу користі та ризиків.

Кейс:

У публічному просторі нанотехнології часто подаються як «соціально нейтральне покращення» наприклад, одяг і текстиль із антибактеріальними властивостями на основі нано-срібла рекламують як більш гігієнічні, «менш смердючі», зручні для спорту й повсякденного використання. На рівні індивідуального користувача це справді виглядає як чиста вигода: жодних додаткових дій не потрібно, ефект нібито «вбудований» у річ. Однак у науковій літературі детально описано інший бік

цього рішення: під час прання частина срібла (включно з наночформами або їхніми трансформаціями) змивається і потрапляє у сточні води. Далі значна частина затримується у мулі на очисних спорудах. Якщо цей мул використовується як добриво або потрапляє в цикли повідження з відходами, потенційне екологічне навантаження «перемішується» в користувача на інших учасників і середовища — по працівників водоочистки, агровиробників, локальні громади поблизу інфраструктури утилізації, а також на екосистеми, для яких навіть невеликі концентрації біоцидних агентів можуть бути значущими. Цей кейс добре показує, чому справедливість у технологіях не зводиться до формального «однакових правил для всіх». Проблема полягає в розподілі: одна група отримує прямий комфорт і конкретну «річність», тоді як інша група бере на себе ризики, не маючи ні контролю над вибором технології, ні вигоди від її використання, ні достатньої інформації для усвідомленої згоди. Дані значна частина видимого різниця між рівністю процедур і етичною справедливістю як аналізом того, хто реально несе тягар наслідків.

Користувач: Комфорт, гігієна, мінімізація додаткових дій

Технологічний процес: Виведення матеріалу за межі безпосереднього користування

Невидимі наслідки: Екологічне та професійне навантаження

Рис. 5.1 Розподіл користі та ризиків у нанотехнологічному продукті: приклад текстилю з наночастинок

Важливо також розрізняти **індивідуальний і структурний виміри справедливості**. Навіть за відсутності свідомих упереджень з боку окремих дослідників, наукові практики можуть відтворювати існуючі нерівності через усталені інституційні механізми, фінансові пріоритети або домінантні уявлення про «нормального користувача» технології. Саме тому етичний аналіз справедливості не обмежується оцінкою намірів, а зосереджується на системних ефектах.

Справедливість слід розглядати як складову етичної відповідальності дослідника, яка полягає не в усуненні всіх нерівностей, а у **визнанні їх існування та готовності враховувати їх у процесі прийняття рішень**. Такий підхід не вимагає від дослідника ролі соціального інженера, але передбачає відмову від уявлення про технології як соціально нейтральні об'єкти.

швидко проявилася проблема.: значна частина ризиків пере «вразливий» як релевантний стейкхолдер. Сріблю, що змив у сточні води, а далі – в інфраструктуру очищення та поводж Це означає, що в технологічну екосистему минають включа відосвічених спорід, операторів систем утилізації, локальні г, інфраструктури, а також екосистеми, для яких навіть низькі агентів можуть мати значення. Ці групи, на відміну від споживача «користується чи ні», він доступу до інформації, ані впливу в впровадження. Фактично інновація створює асиметрію: одній точці (у споживанні), тоді як ризики стають розподілен у системах, що забезпечують базову інфраструктуру. Цей ко розуміння інклюзивності як умови відповідальної науки, а не Він демонструє, що проблема часто починається ще на етапі й метрик успіху: якщо успіх вимірюється лише ефективніс ефекту» та привабливістю для ринку, то з поля зору випада екологічні траєкторії, сценарії масштабування та групи, які не без своєї згоди. Відповідальна, інклюзивна позиція в такій с щоб «усіх запросити», а в тому, щоб зробити видимими нер описати, що може мати побічні ризики, які дані погляди для які обмеження та невизначеності існують, і які механізми ма передбачені після впровадження.

З етичної точки зору інклюзивність не означає, що дослідн безпосередньо представляти інтереси всіх можливих груп. **ставити питання про те, хто не враховано**, які перспективи і як це може впливати на справедливість розподілу користі дозволяє уникнути лише універсального технологічних рі відповідальному інноваційному процесу (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 Інклюзивність у дослідженні та інновація: ко видно- і чому це етично важливо

Площина інклюзивності	Кого зазвичай видно і враховано	Кого часто не видно / недостатньо враховано	Типовий механізм «невидимості»	Е
Визначення проблеми	Домінантні науково-медичні «замовники» запиту	Локальні потерпілі, маргіналізовані проблеми	Пріоритети ринку, вирішує тим	Ри
Дизайн дослідження	«Середній» користувач умовах	Уразливі групи, люди з інвалідністю	Припущення про «нормальне»	Ні
Вибір метрик успіху	Ефективність, продуктивність, новизна	Безпека, довгостроковість	Перевага «кількісного»	С

наслідком свідомого намору. Вони формуються як результат усталених наукових норм, методологічних традицій і невявних припущень про користувачів, умови застосування та цілі технології.

У нанотехнологіях ці упередження часто масштабуються під технічну нейтральність. Вибір «стандартних» умов експерименту, типових середовищ тестування або узагальнених параметрів сприймається як методологічно коректний, однак водночас може призводити до включення значущої варіативності. У результаті технологічні рішення оптимізуються для абстрактного «середнього випадку», який у реальності може не відповідати умовам використання або потребам конкретних груп.

Особливо проблематичним є припущення про універсальність технологій. Коли дизайн досліджень не враховує різноманіття контекстів — соціальних, екологічних, економічних — це створює ризик несправедливого розподілу користі й шкоди (рисунок 5.2). Технологія може працювати ефективно в умовах лабораторії або пілотного проекту, але виявляти небажані ефекти при перенесенні в інші середовища, де відсутні аналогічні ресурси, контроль або інфраструктура.

Рис. 5.2 Нерівний розподіл користі й ризиків у нанотехнологіях: приклад енергетичних матеріалів

З етичної точки зору важливо підкреслити, що **нейтральність дизайну є ілюзією**. Кожне дослідницьке рішення — від вибору матеріалу до способу інтерпретації даних — імплізитно відображає певні цінності та пріоритети. Якщо ці пріоритети не усвідомлюються і не проговорюються, вони автоматично відтворюють домінантні позиції та виключають альтернативні перспективи.

Для формування етичної відповідальності принциповим є перехід від питання «чи є упередження?» до питання **«які припущення закладені в дизайн і кого вони можуть виключати»** (таблиця 5.2). Такий підхід не вимагає радикальної зміни наукових методів, але передбачає рефлексивне ставлення до власних дослідницьких рішень і готовність визнавати їхні обмеження.

Таблиця 5.2 Невидимі упередження в дизайні досліджень і технологій

Приховане припущення	Де воно виникає	Чому здається нейтральним	Кого може виключати	Потенційний етичний наслідок	Ознака відповідальної позиції
«Середній користувач»	Дизайн технології	Спрощує моделювання	Уразливі або четлові групи	Непридатність або шкода	Опис меж застосовності
«Типові умови»	Лабораторні тести	Методологічний стандарт	Реальні середовища використання	Хибна безпечність	Аналіз контекстної варіативності
«Ефективність у усіх»	Критерії оцінки	Легка вимірюється	Соціальні та екологічні аспекти	Ігнорування наслідків	Розширення критеріїв
«Дані репрезентативні»	Вибір вибірок	Статистична коректність	Рідкісні або крайні випадки	Несподівані ускладнення	Явні обмеження обмежень
«Нейтральна технологія»	Концепція проекту	Відокремлення науки від соціуму	Групи, що зазнають впливу	Зняття відповідальності	Визнання соціальних ефектів
«Результати все відкриті»	Етап впровадження	Делегування рішення	Майбутні користувачі	Відкладена шкода	Превентивна рефлексія

Таким чином, аналіз невидимих упереджень дозволяє пов'язати питання інклюзивності та справедливості безпосередньо з повсякденними дослідницькими практиками. Усвідомлення цих упереджень не спрямоване на пошук помилок або винних, а на **підвищення якості та етичної надійності** наукових і технологічних рішень.

Розділ 5. Справедливість як складова етичної відповідальності дослідника

У дискурсіє про справедливість у науці часто виникає хибна альтернатива: або відповідальність повністю покладається на інституції та політику, або ж вона персоналізується й перекладається на окремого дослідника. Обидва підходи є проблематичними. Перший дозволяє дослідному повністю дистанціюватися від соціальних наслідків власної роботи, другий — створює нереалістичні очікування повного контролю над складними інноваційними процесами.

Етична відповідальність дослідника у вимірі справедливості не полягає ні в замішенні регуляторних механізмів, ні в усуненні структурних нерівностей. Вона полягає у визнанні того, що на різних етапах дослідження саме дослідник уквалює низку рішень, які впливають на те, хто отримає користь, хто нестиме ризики і хто матиме доступ до результатів (рисунок 5.3). Ці рішення є частковими за масштабом, але не нейтральними за наслідками.

Дослідник у науці виникає не з повного контролю, а з рефлексивних рішень у власній зоні впливу.

Рис. 5.3 Де саме виникає етична відповідальність дослідника?

По-перше, відповідальність проявляється на рівні формулювання дослідницького запиту. Вибір того, які проблеми вважаються науково значущими, які застосування розглядаються як «очевидні», а які — як периферійні, уже задає напрямок розподілу майбутньої користі. Навіть у межах заданих грантових або інституційних рамок дослідник може усвідомлювати, чи орієнтоване його дослідження на вузьке коло добре розрекламованих користувачів, чи потенційно вразливі широкі соціальні контексти.

По-друге, суттєвим виміром відповідальності є дизайн дослідження і критерії успіху. Орієнтація виключно на технічну ефективність, стабільність або новизну може призводити до ігнорування питань доступності, довгострокових наслідків або умов реального застосування технологій. Дослідник у цьому контексті означає не обов'язково включення всіх можливих аспектів, а готовність чітко позначати, які аспекти залишаються поза межами аналізу і чому.

По-третє, відповідальність дослідника безпосередньо пов'язана зі способом комунікації результатів. Те, як формулюються висновки, як описуються обмеження, наскільки явно проговорюється невизначеність, визначає, хто зможе коректно інтерпретувати результати і для яких цілей вони можуть бути використані. Формально відкриті, але надмірно технократичні або «очищені» від контексту публікації можуть фактично обмежувати доступ до знання і сприяти несправедливому використанню результатів.

Важливо також підкреслити, що етична відповідальність у вимірі справедливості включає визнання меж власного контролю. Дослідник не відповідає за всі можливі

застосування технології, але відповідає за те, щоб не створ безпечності, універсальності або соціальної нейтральності. ці саме відомо, що залишаються невизначеності і які надсл лабораторним контекстом, є формою відповідальної позиц дослідження.

Таким чином, справедливість як складова етичної відпові полягає не в контролі над системою, а в готовності сприй рішень у межах цієї системи. Вона проявляється у здатност як масштабати із формального коректності та робити наслі з її обмеженнями — видимої для інших учасників інновації

Розділ 6. Типові пастки мислення щ справедливості та інклюзи

Попри зростання уваги до питань справедливості та інклю і технологічній практиці вони часто нейтралізуються через аргументаційні пастки. Ці пастки не є проявом недобросо виникають значному функціям, дозволяючи зменшити етичну складних, багатовимірних рішень і структурних обмежень.

Однією з найпоширеніших пасток є оптимізація справедл рівностю. Однакові правила, процедури або доступ до ресу доказ етичної нейтральності, хоча фактичні наслідки таких нерівномірними. У результаті нерівності відтворюються, а невидимими, оскільки не порушують формальних норм.

Іншою типовою пасткою є заведення інклюзивності до пред окремих груп у проектах або консультаціях сприймається коректності, навіть якщо їхній досвід не впливає на ключов символічний підхід дозволяє зберігати існуючі траєкторії і ін існує внутрішньої логіки.

Не менш проблематичним є аргумент про «нейтральність дистанціюватися від соціальних наслідків, перекладаючи зовнішні чинники — ринок, політику або користувачів. У вит аргумент особливо привабливий, оскільки він узгоджується відокремленості наукових рішень від соціального контекст

Кейс:

Показаним прикладом пасток мислення щодо справедливос нанотехнологічних рішень у сфері очищення вод в регіонах інфраструктурою. У ряді проектів нанофільтрації матеріал

Чек-лист для самоперевірки

Призначення чек-листа

Цей чек-лист призначений для індивідуальної етичної рефлексії під час аналізу дослідницьких або інноваційних проектів. **Його мета** — допомогти ідентифікувати потенційні соціальні асиметрії, невидимі включення та обмеження інклюзивності без зовнішнього оцінювання з боку викладача.

1. Представленість перспектив і досвідів

- Які групи або зацікавлені сторони явно враховані в проекті?
- Чи є групи, на які результати можуть вплинути, але які не були враховані на етапі проектування?
- Які припущення про «типового користувача» або «типові умови» закладені в дослідженні?
- Чи розглядаються альтернативні контексти застосування технології, відмінні від лабораторних або пілотних?

2. Доступність результатів і технологій

- Для кого фактично є доступними результати дослідження (знання, технологія, продукт)?
- Які бар'єри (економічні, технологічні, інституційні, мовні) можуть обмежувати доступ?
- Чи усвідомлюються різниця між формальною відкритістю і реальною можливістю використання результатів?
- Чи передбачено механізми поширення результатів за межі вузького експертного кола?

3. Визнання внеску різних учасників

- Чий внесок у дослідження або інновацію є видимим і формалізованим?
- Чи існують учасники або групи, чий вклад залишається непроговореним або недооціненим?
- Як приймалися ключові рішення і хто мав реальний вплив на їх формування?
- Чи прозоро окреслено межі відповідальності між різними учасниками?

Пам'ятка швидкої етичної орієнтації

«Справедливість — це питання якості, а не коректності»

Функція пам'ятки

Ця пам'ятка призначена для швидкої етичної орієнтації під час аналізу кейсів або обговорення технологічних рішень. Вона допомагає зместити фокус із формальної відповідності правил на **якість рішень та їхню довгострокову стійкість.**

Ключові орієнтири

1. Формальна коректність не гарантує справедливості
Дотримання стандартів, процедур і регуляторних вимог є необхідною, але не достатньою умовою етичної відповідальності. Питання справедливості виникає там, де формально коректні рішення породжують нерівні або непропорційні наслідки.

2. Справедливість проявляється в наслідках, а не в намірах
Етична оцінка фокусується не на задекларованих цілях проекту, а на тому, хто і як відчуває його вплив. Навіть добрі наміри не усувають відповідальності за побічні ефекти.

3. Несправедливі рішення знижують стійкість технологій
Технології, що ігнорують соціальні асиметрії, рідше викликають довіру, суспільного спротиву та регуляторних обмежень. У цьому сенсі справедливість є чинником не лише етики, а й довгострокової життєздатності інновацій.

4. Невидимі групи — сигнал для етичної паузи
Якщо під час аналізу складно відповісти на питання, хто може зазнати ризиків або бути виключеним, це не означає, що таких груп немає. Це сигнал для додаткової рефлексії, а не для поспішних висновків.

5. Якість рішення: включає здатність до корекції
Справедливе рішення не завжди є остаточним. Воно вісіть визнавається також готовністю до перегляду, корекції та вражування нових даних або перспектив на пізніших етапах.

Рефлексивне запитання для швидкого застосування

Чи підвищує це технологічне рішення свою стійкість завдяки врахуванню справедливості, чи лише виглядає коректним у формальному сенсі?

Методичне зауваження

Ця пам'ятка не пропонує готових відповідей і не замінює повного етичного аналізу. Її завдання — **ініціювати рефлексивну паузу**, у якій справедливість розглядається як індикатор якості наукового та інноваційного рішення.

Аналітичні приклади соціального виміру нанотехнологій

Призначення: показати практичні наслідки рішень щодо справедливості та інклюзивності без нормативного тиску, через аналіз контексту, учасників і траєкторій дизайну.

Втрата довіри через ігнорування соціального контексту

Прилад (сфера)	Що обіцяла технологія	Який соціальний контекст проігнорували	Як проявилась втрата довіри	Етична напруга (без «правильного» відповіді)	Що можна було зробити інакше (не варіант)
Наноматеріали для очищення у сточних водах (мікрочастинки)	Ізольованість, кращі властивості (вони багатократність довговічності)	Очікування прозорості, потреба в інформованому виборі	Підтримка щодо «прихованих» наноматеріалів, медіа-скандали	Мова яка відповідальність, яке таємницю і правам на знання	Мінімальна технічна відповідальність, коректне маркування
Наноматеріали у контакті з їжею («контакт», медичні вироби)	«Покращення ефективності, нові механізми доставки	Висока чутливість до деяких здорові і мікоплазмостійкості	Недовіра до виробників, дослідників при брехні повсюдно	Баланс між доступністю продукту і обмеженням доказів	Комунікація невизначеності, пост-маркетингові моніторинг
Наноматеріали у дрібній (антибактеріальні добавки, текстиль)	«Гігієна», «безпека»	Тривога щодо короткочасних екологічних ефектів	Спротив проекту NFS, вимоги обмежень	Конфлікт між безпекою користувача і довгостроковими ефектами	Поясснення ризику, аналітичне оцінкі, відповідальне дослідження програми
Наноінфраструктура та умови праці	Компанії, інноваційні кластери	Працівники виробництв, лабораторій, підрядники	Суперечки щодо стандартів безпеки, комунікації, контролю	Хто відповідає за невидимі ризики на робочому місці?	Розширений моніторинг, навчання, незалежний аудит, відкриті протоколи безпеки

Конфлікти через обмежений доступ або нерівний розподіл ризиків

Прилад (сфера)	Хто отримував основну користь	Хто міг основні загинів/зазнавтам вник	У чому виник конфлікт	Етична дилема	М'які опції корекції (без «заборон»)
Високотехнологічні комплементарні рішення (доступність)	Працівники/системи, охорони здоров'я з високими ресурсами	Групи з низьким доступом (регіони, країни, бідніші пацієнти)	Нерівність доступу до «нового покоління»	Чи є справедливою ситуація, коли ефективні ліки доступні лише багатим?	Моделі диференційованого доступу, прозорість ціноутворення, перехресне субсидування програми
Наноінфраструктура	Компанії, інноваційні кластери	Працівники виробництв, лабораторій, підрядники	Суперечки щодо стандартів безпеки, комунікації, контролю	Хто відповідає за невидимі ризики на робочому місці?	Розширений моніторинг, навчання, незалежний аудит, відкриті протоколи безпеки

Часті питання (FAQ)

1. Чи не є справедливість і інклюзивність до науки соціальними вимогами?

Ні. Справедливість і інклюзивність слід розглядати не як зов «надбудови», а як **внутрішні характеристики якості «науков рішення**. Вони впливають на дизайн, стійкість і легітимність на їхню життєдатність.

2. Якщо я дотримуюся всіх стандартів і п чи цього достатньо?

Дотримання стандартів є необхідною, але не достатньою у коректність не гарантує справедливого розподілу користі відповідальність починається там, де виникає питання про а не лише про відповідність правилам.

3. Чи повинен дослідник відповідати за наслідки технології?

Ні. Мито не покладає на дослідника повної відповідальнос дизайн дослідження, комунікацію результатів і визначення

4. Чи не знижує фокус на справедливості та інноваційність?

Фокус на справедливості не обмежує науково свободу, а за обґрунтування. Інноваційність, яка ігнорує соціальні асиме менш стійкою. У цьому сенсі справедливість може підвищу інноваційний потенціал.

5. Що означає «інклюзивність» у контекс а не в соціальній політиці?

Інклюзивність означає не обов'язково залучення всіх груп. **усвідомлення того, кого не враховано** в дизайні технології, метричних успіху або сценаріях застосування.

Рефлексивний інструмент

«Соціальна карта впливів мого технологічного рішення»

Призначення

Інструмент призначений для самостійного застосування під час аналізу:

- власних навчальних або дослідницьких проектів;
- прикладів із базових дисциплін;
- реальних або змодельованих нанотехнологічних рішень.

Метою є виявлення соціальних впливів, асиметрій і зон невизначеності без зовнішнього оцінювання.

Інструкція до використання

Оберіть конкретне технологічне рішення або дослідницький проєкт. Послідовно опрацюйте блоки нижче, фіксуючи міркування у довільній формі (текст, схема, таблиця). Відповіді не оцінюються за критерієм «правильно/неправильно».

Блок 1. Контекст і суб'єкти впливу

- Яке технологічне рішення або дослідження я аналізую?
- Хто є безпосередніми користувачами або бенефіціарами?
- Хто може зазнати непрямого впливу (екологічного, соціального, економічного)?
- Які групи або перспективи залишаються поза межами мого початкового аналізу?

Мета блоку: окреслити коло видимих і невидимих учасників.

Блок 2. Користь і ризики

- У чому полягає основна користь цього рішення і для кого саме?
- Які ризики або побічні ефекти можливі і хто їх несе?
- Чи є розподіл користі й ризиків симетричним або пропорційним?
- Які ризики залишаються невизначеними або недостатньо дослідженими?

Мета блоку: виявити асиметрії між вигодами та навантаженнями.

Блок 3. Доступ і інклюзивність

- Хто має реальний доступ до результатів або технології?
- Які бар'єри можуть обмежувати цей доступ (економічні, інституційні, інформаційні)?
- Чи передбачає рішення можливість адаптації до різних контекстів застосування?

Мета блоку: відрізнити формальну відкритість від фактичної доступності.

Блок 4. Припущення та упередження

- Які припущення про «типового користувача» або «типові умови» закладені в рішенні?
- Які перспективи або сценарії могли бути виключені через ці припущення?
- Чи можна вважати ці виключення неминучими, чи вони є наслідком вибору дизайну?

Мета блоку: зробити явними приховані ціннісні установки.

Блок 5. Межі відповідальності і можливості корекції

- Яку частину впливів я можу реально контролювати як дослідник або розробник?
- До яких меж моєї відповідальності?
- Де проходять межі моєї відповідальності?
- Для яких частин процесу (дизайну, комунікації, впровадження)?

Мета блоку: усвідомити відповідальність без самоусунення або перебільшення ролі.

Підсумкове рефлексивне запитання

Які соціальні наслідки цього технологічного рішення я тепер бачу інакше, ніж до початку аналізу?

Методичне зауваження

«Соціальна карта впливів» не має на меті досягнення етичної «досконалості». Вона слугує індикатором **рефлексивної зрілості**: здатності працювати з невизначеністю, визнавати асиметрії та розумітися соціальний вимір технологічних рішень.

Сценарна задача

Головна сценарна задача модуля 5

Назва сценарної задачі

«Ефективне рішення для не всіх»

Контекст кейсуючи

Дослідницька група університету розробляє нанотехнологічне рішення для підвищення ефективності очищення води від важких металів. Технологія базується на наноструктурованому адсорбційному матеріалі з високою селективністю та швидкою регенерацією.

Проєкт демонструє переконливі результати:

- високу ефективність очищення;
- зниження експлуатаційних витрат у порівнянні з традиційними методами;
- потенціал для масштабування.

Основним цільовим сценарієм упровадження є використання технології в промислових і муніципальних системах водопідготовки. Під час презентації результатів команда наголошує на технологічній досконалості рішення та його відповідності екологічним стандартам.

На етапі обговорення можливих застосувань з'являється питання: технологія потребує складної інфраструктури, стабільного енергопостачання та кваліфікованого обслуговування. Це означає, що її впровадження є реалістичним переважно для економічно спроможних регіонів, тоді як громадам з найбільш забрудненими джерелами води фактично залишається поза межами доступу.

Формально проєкт відповідає всім вимогам, а команда не декларувала мету вирішення соціальної нерівності. Проте виникає етична напруга: **чи можна вважати технологічне рішення успішним, якщо воно посилює існуючі асиметрії доступу до безпеки та ресурсів?**

Аналітичний розбір

У цьому сценарії проблема справедливості виникає не через порушення норм, дискримінаційні наміри або свідоме виключення певних груп, а як побічний наслідок технологічного дизайну рішення. Розроблена технологія очищення води є науково обґрунтованою, ефективною та відповідає екологічним стандартам. Проте саме спосіб її реалізації — залежність від складної інфраструктури, стабільного енергопостачання та кваліфікованого обслуговування — визначає, хто зможе реально скористатися її перевагами. У результаті користь концентрується

Набір сценарних задач «Подумай сам»

Сценарна задача 1

Дослідження наноматеріалу проводиться в умовах, які ва галузі: стабільна температура, чисте середовище, надійне е У публікації зазначається, що результати можуть бути Питання впливу інших умов використання не розглядалос

Подумай сам

- Для кого ці умови наприклад є «типовими»?
- Які групи або контексти автоматично виключаються
- Чи є універсальність нейтральним припущенням?

Сценарна задача 2

У проєкті з нанотехнологій успіх визначається через маки і зниження витрат. Інші критерії не включаються, оскільки кількісного вимірювання. Проєкт визнається успішним і го

Подумай сам

- Які наслідки залишаються «поза метриками»?
- Хто витрат від такого визначення успіху?
- Чи може вибір метрик бути етично значущим?

Сценарна задача 3

У технічній документації та публікаціях використовується п без уточнення соціальних, економічних або інфраструктур Вважається, що технологія є нейтральною щодо справедл

Подумай сам

- Хто є «користувачем за замовчуванням» у цій логіці?
- Кого не видно в такому описі?
- Як це впливає на справедливість застосування техн

ДОДАТОК В

СЦЕНАРНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ОЦІНЮВАННЯ ГОТОВНОСТІ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА НА ЗАСАДАХ ЕТИЧНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ

(розробка автора)

Інструментарій оцінювання

СЦЕНАРІЇ

РАУНД 1.

І. Екологічна етика в нанотехнологіях

Сценарій 1.
Ви працюєте над наноструктурованим покриттям, яке значно підвищує енергоефективність промислового обладнання. Екологічний ефект на етапі експлуатації позитивний, однак синтез наночастинок потребує агресивних реагентів, а дані про їхню поведінку в довкіллі після утилізації обмежені.

Як ви обґрунтовуєте подальший розвиток технології?
A. Довгострокове зниження енергоспоживання компенсує екологічні ризики виробництва.
B. Технологія потребує доопрацювання, навіть якщо це зменшить її конкурентоспроможність.
C. Доцільно застосовувати її лише у вузьких, критичних сферах.

Сценарій 2.
Під час тестування наноматеріалу для очищення води з’являються дані про накопичення наночастинок у донних відкладеннях. Токсичність не доведена, але механізми біоакумуляції залишаються неясними.

Ви вважаєте найбільш виправданим:
A. Продовжити дослідження без зміни курсу до появи однозначних доказів шкоди.
B. Застосувати принцип обережності та обмежити масштабування.
C. Передати оцінку ризиків регуляторним органам і діяти відповідно до їх рішень.

Сценарій 3.
Новий нанокомпозит значно подовжує термін служби електронних пристроїв, але ускладнює їх вторинну переробку через складну багатофазну структуру.

Яка позиція для вас переконливіша?
A. Подовження життєвого циклу є ключовим екологічним аргументом.
B. Неможливість ефективної переробки є принциповою проблемою.
C. Обидва аспекти слід розглядати як рівнозначні етичні виклики.

II. Відповідальні інновації (RRI) у нанонауці

Сценарій 4.
Ваша команда розробляє наноматеріал із потенціалом широкого промислового застосування. Основні рішення приймаються інженерами та фізиками, без залучення майбутніх користувачів або екологічних експертів.

Як ви оцінюєте цю ситуацію?
A. На ранніх етапах важливіша технологічна досконалість.
B. Відсутність міждисциплінарного діалогу підвищує ризики неприйняття технології.
C. Залучення стейкхолдерів має відбуватися лише після демонстрації працездатності.

Сценарій 5.
Для участі в міжнародному конкурсі нанотехнологічних стартапів потрібно подати розробку як «проривну». Наразі підтверджено лише лабораторні результати, а масштабування ще не перевірене.

Ви схиляєтесь до того, щоб:
A. Акцентувати на потенціалі, оскільки це стандарт практики.
B. Чітко розмежувати доведені результати та очікувані ефекти.
C. Відмовитися від участі до появи більш стабільних даних.

Сценарій 6.
Наноматеріал, який ви розробили, планують застосувати у медичних або екологічних умовах з високою суспільною чутливістю, хоча дані про довготривалий вплив обмежені.

Що ви вважаєте відповідальним підходом?
A. Обмежене впровадження з паралельним збором даних.
B. Відтермінування застосування до завершення повних досліджень.
C. Передачу відповідальності за рішення виключно регуляторам.

III. Відкритість і прозорість у нанодослідженнях

Сценарій 7.
У вашому дослідженні наноматеріал демонструє нестабільні властивості залежно від умов синтезу, що ускладнює чіткі висновки.

Ви вважаєте доцільним:
A. Опублікувати лише найбільш відтворювані результати.

B. Представити повний набір даних з поясненням варіабельності.
C. Відкласти публікацію до оптимізації методики.

Сценарій 8.
Індустріальний партнер фінансує дослідження наноструктур, але обмежує доступ до сирих даних, посилаючись на комерційну та безпекову чутливість.

Яка позиція вам ближча?
A. Компроміс між відкритістю та інтересами партнера.
B. Пріоритет повної відкритості як умови наукової доброчесності.
C. Диференційований доступ до даних для різних аудиторій.

Сценарій 9.
Ви працюєте з наноматеріалами, що потенційно небезпечні при неправильному поводженні. Повна публікація методики може спростити неконтрольоване відтворення.

Ваше рішення:
A. Повна відкритість заради відтворюваності.
B. Часткове обмеження технічних деталей.
C. Публікація з розгорнутими етичними застереженнями.

IV. Подвійне використання та запобігання шкоді

Сценарій 10.
Розроблені вами наноструктури можуть застосовуватися як у системах екологічного моніторингу, так і у військових сенсорах.

Ви вважаєте, що:
A. Призначення технології не є відповідальністю дослідника.
B. Потенціал подвійного використання має бути явно проговорений.
C. Самообмеження досліджень шкодить розвитку нанонауки.

Сценарій 11.
Колега просить деталі синтезу наноматеріалу, які можуть бути адаптовані для небезпечних застосувань, не передбачених проєктом.

Ви реагуєте так:
A. Передаєте інформацію як частину академічної відкритості.
B. Уточнюєте контекст і можливі ризики.
C. Відмовляєтесь від повного розкриття деталей.

Сценарій 12.
Під час обговорення студенти або колеги жартома припускають використання вашої нанорозробки в шкідливих цілях.

Ви вважаєте за потрібне:
A. Не надавати значення гіпотетичним сценаріям.
B. Зазначити, що такі питання потребують обережності.
C. Перевести дискусію в площину етичної відповідальності.

V. Справедливість та інклюзивність у нанотехнологіях

Сценарій 13.
Доступ до нової нанотехнології на початковому етапі мають лише великі, добре фінансовані організації.

Ви вважаєте:
A. Це неминуча стадія розвитку складних технологій.
B. Потрібні механізми справедливішого доступу.
C. Соціальна справедливість не є завданням розробників.

Сценарій 14.
Навчальні курси з нанотехнологій базуються переважно на кейсах з обмеженого кола країн і наукових шкіл.

Для вас це:
A. Об’єктивне відображення лідерства у галузі.
B. Педагогічна проблема, що впливає на формування цінностей.
C. Другорядне питання порівняно з технічним змістом.

Сценарій 15.
У міждисциплінарному нанопроєкті технічний внесок одних учасників формалізований, а робота з безпеки, комунікації чи етики — ні.

Ви вважаєте коректним:
A. Оцінювати лише вимірювані наукові результати.
B. Шукати способи визнання нематеріального внеску.
C. Чітко розділяти наукову і соціальну відповідальність.

РАУНД 2.

І. Екологічна етика в нанотехнологіях

Сценарій 1.

Ви берете участь у проєкті з розробки наноматеріалу для акумуляторів нового покоління. Матеріал дозволяє суттєво зменшити масу та підвищити ефективність батарей, але його деградаційні продукти в природному середовищі практично не вивчені.

Яке міркування є для вас визначальним?
A. Без зниження вуглецевого сліду транспортних систем екологічні ризики не можна зменшити взагалі.
B. Невідомі продукти деградації є достатньою підставою для стриманого впровадження.
C. Ризик слід оцінювати лише після накопичення реальних польових даних.

Сценарій 2.

Під час життєвого циклу наноматеріалу з'ясувалося, що екологічні втрати зміщені не в регіон використання, а в регіон виробництва сировини.

Як ви інтерпретуєте цю ситуацію?
A. Важливо оцінювати глобальний екологічний баланс, а не локальні ефекти.
B. Перенесення екологічних ризиків є етично проблематичним незалежно від вигод.
C. Це питання міжнародної регуляції, а не відповідальності конкретної команди.

Сценарій 3.

Наноматеріал, який ви досліджуєте, демонструє екологічну безпечність у лабораторних умовах, але поведінка в складних природних системах залишається непередбачуваною.

Ви вважаєте, що:
A. Лабораторні дані є достатньою підставою для обмеженого застосування.
B. Природна складність вимагає додаткових етапів перевірки.
C. Повна передбачуваність у нанотехнологіях принципово недосяжна.

II. Відповідальні інновації (RRI)

Сценарій 4.

Ви входите до експертної групи, що оцінює перспективність нанотехнологічного проєкту. Технологія ефективна, але її впровадження може витіснити традиційні рішення та цілі професійні спільноти.

Яка позиція вам ближча?
A. Технологічний прогрес неминуче змінює соціальні структури.
B. Соціальні наслідки мають бути частиною оцінки інновації.
C. Такі ефекти виходять за межі відповідальності розробників.

Сценарій 5.

Після завершення курсу ви усвідомлюєте, що ранні етапи вашої нанорозробки не враховували етичних аспектів, але проєкт уже просунувся далеко.

Як ви оцінюєте можливі дії?
A. Етичні корекції доречні лише на початкових етапах.
B. Навіть пізні зміни можуть зменшити потенційну шкоду.
C. Важливіше завершити проєкт, а етичний аналіз залишити для майбутніх.

Сценарій 6.

Інвестор наполягає на прискореному впровадженні нанотехнології, аргументуючи це суспільною користю, хоча частина ризиків ще не оцінена.

Ви вважаєте обґрунтованим:
A. Пріоритет швидкого впровадження заради користі.
B. Баланс між швидкістю та відповідальністю.
C. Відмову від прискорення незалежно від аргументів.

III. Відкритість і прозорість

Сценарій 7.

Після завершення курсу ви краще розумієте значення негативних результатів, але публікація таких даних може ускладнити подальше фінансування.

Ви вважаєте:
A. Негативні результати — внутрішня інформація команди.
B. Вони мають бути доступні хоча б у відкритих репозитаріях.
C. Публікація негативних даних є обов’язковою частиною доброчесності.

Сценарій 8.

Ваші відкриті дані з нанодосліджень починають активно використовувати треті сторони без залучення вас як автора.

Як ви оцінюєте ситуацію?
A. Це нормальна практика відкритої науки.
B. Потрібні чіткі механізми атрибуції та ліцензування.
C. Відкритість не повинна означати втрату контролю.

Сценарій 9.

Після курсу ви усвідомлюєте, що певні деталі методики можуть бути небезпечними поза науковим контекстом.

Ваш підхід:
A. Максимальна відкритість з мінімальними обмеженнями.
B. Контрольований доступ до технічних деталей.
C. Відмова від публікації повного опису.

IV. Подвійне використання / запобігання шкоді

Сценарій 10.

Після курсу ви починаєте по-іншому оцінювати потенціал подвійного використання власних досліджень.

Що для вас змінилося?
A. Усвідомлення ризиків, але без зміни дослідницької практики.
B. Поява потреби у внутрішній етичній рефлексії.
C. Необхідність формалізованих обмежень і процедур.

Сценарій 11.

Ви помічаєте, що популяризація нанотехнологій часто ігнорує можливі негативні сценарії.

Як ви оцінюєте роль науковця?
A. Популяризація має надихати, а не лякати.
B. Баланс між привабливістю і відповідальністю є критичним.
C. Обговорення ризиків — завдання регуляторів, а не дослідників.

Сценарій 12.

Після курсу ви стикаєтесь із ситуацією, коли колеги применшують ризики подвійного використання, щоб спростити публікацію.

Ви схиляєтесь до того, щоб:
A. Не ускладнювати процес додатковими застереженнями.
B. Зафіксувати ризики хоча б у внутрішній документації.
C. Наполягати на їх явному відображенні.

V. Справедливість та інклюзивність

Сценарій 13.

Ви берете участь у міжнародному нанопроєкті, де рішення ухвалюються вузьким колом технічних експертів.

Як ви оцінюєте це?
A. Висока складність вимагає експертної замкненості.
B. Відсутність різноманіття може звузити бачення наслідків.
C. Інклюзія не повинна шкодити ефективності.

Сценарій 14.

Після курсу ви переглядаєте освітні матеріали з нанотехнологій і помічаєте, що приклади соціальних наслідків подаються мінімально.

Ви вважаєте, що:
A. Це нормально для технічних дисциплін.
B. Це обмежує формування відповідального мислення.
C. Такі теми краще виносити в окремі курси.

Сценарій 15.

У команді нанопроєкту ви бачите, що робота з оцінки ризиків і комунікації не враховується при розподілі визнання.

Ви вважаєте:
A. Це неминуче в науці, орієнтованій на результати.
B. Система визнання потребує перегляду.
C. Етична робота має бути добровільною, а не формалізованою.

Ключі

Оцінювання проводиться за допомогою специфічних для сценаріїв ключів. Варіанти відповідей не рівномірно ранжовані за сценаріями; натомість кожен варіант закодований відповідно до основного типу етичного мислення, яке він відображає. Цей підхід був обраний навмисно, щоб уникнути соціально бажаних відповідей та врахувати контекстуальний та нелінійний характер етичної відповідальності у прийнятті рішень, пов'язаних з нанотехнологіями.

Таблиця ключів до сценаріїв Раунду 1

Компонент	№	A	B	C	Коротка логіка присвоєння
Екологічна етика	1	1	3	2	A: "користь переважає" без роботи з невизначеністю/викидами; B: вимога переінженерення процесу та екологізації; C: часткове пом'якшення через обмеження застосування
Екологічна етика	2	1	3	2	A: продовження без запобіжників; B: принцип обережності за потенційної біоакумуляції; C: передача відповідальності регулятору (частково прийнятно, але пасивно)
Екологічна етика	3	2	2	3	A/B: домінування одного критерію (довговічність **або** переробка) без інтеграції; C: системне бачення (довговічність + end-of-life як спільна етична задача)
RRI	4	1	3	2	A: редукція інновації до "технічної досконалості"; B: міждисциплінарність і залучення стейкхолдерів як умова відповідальності; C: відкладене залучення (компроміс)
RRI	5	1	3	2	A: нормалізація "хайпу" та приховування невизначеності; B: чесне розмежування доказів/гіпотез; C: відмова як етичний мінімізаціонізм (може бути відповідально, але часто непропорційно)
RRI	6	3	2	1	A: контрольоване впровадження + моніторинг (відповідальна інновація); B: відтермінування як обережність, але без відповіді на суспільну потребу; C: самоусунення ("не моя відповідальність")
Відкритість/прозорість	7	2	3	1	A: часткова відкритість (ризик "селективної історії"); B: повний набір даних із поясненням варіабельності; C: затримка публікації як приховування/відкладання знання
Відкритість/прозорість	8	1	2	3	A: прийняття закритості без запобіжників; B: компроміс (пошук умов узагальнення/публікації); C: диференційований доступ/моделі керованої відкритості (найвиваженіше)
Відкритість/прозорість	9	2	3	1	A: максимальна відкритість попри ризики (частково обґрунтовано репродуктивністю); B: обмеження деталей як управління ризиком (відповідальне розкриття); C: "лише застереження" без реального контролю ризику
Dual-use / harm prevention	10	1	3	2	A: повне зняття відповідальності з дослідника; B: явне проговорення dual-use та етичний супровід; C: самообмеження як реакція, але без процедурності/балансу

Dual-use / harm prevention	11	1	2	3	A: безумовна передача чутливих деталей; B: уточнення контексту (мінімальні запобіжники); C: відмова/обмеження розкриття як відповідальна комунікація (за умови надання безпечної альтернативи — загальний опис/посилання на протоколи безпеки)
Dual-use / harm prevention	12	1	2	3	A: нормалізація шкідливих сценаріїв; B: м'яка корекція без глибини; C: переведення в етичну площину й формування культури відповідальності
Справедливість/інклюзивність	13	2	3	1	A: прийняття нерівного доступу як "природного" (компромісна позиція); B: активні механізми справедливішого доступу; C: повне усунення ("не наша справа")
Справедливість/інклюзивність	14	2	3	1	A: частково прийнятна, але консервативна легітимація "канону"; B: перегляд матеріалів як етична педагогіка; C: знецінення проблеми як мінімальна відповідальність
Справедливість/інклюзивність	15	1	3	2	A: звуження визнання до "вимірюваного" і маргіналізація етичної/ризикової праці; B: інституціоналізація справедливого визнання внеску; C: частковий компроміс (розділення сфер без зміни правил визнання)

Таблиця ключів до сценаріїв Раунду 2

Компонент	**№**	**A**	**B**	**C**	**Коротка логіка присвоєння**
Екологічна етика	1	2	3	1	A: пріоритет декарбонізації з частковим прийняттям невизначеності (компроміс); B: принцип обережності щодо продуктів деградації (відповідально); C: "подивимось потім" без запобіжників/управління ризиком (мінімальна відповідальність)
Екологічна етика	2	2	3	1	A: глобальний баланс важливий, але ризик "етичного аутсорсингу" (компроміс); B: фіксація проблеми перенесення екологічних ризиків як етичного ядра (відповідально); C: перекладання на міжнародну регуляцію без позиції команди (мінімальна)
Екологічна етика	3	2	3	1	A: обмежене застосування на основі лабораторних даних — процедурний компроміс; B: вимога додаткових етапів перевірки з огляду на складність природних систем (відповідально); C: "повна передбачуваність недосяжна" як виправдання без дій (мінімальна)
RRI	4	2	3	1	A: нормалізація соціальних втрат як "неминучих" (компроміс); B: включення соціальних наслідків у оцінку інновації (відповідально); C: самоусунення розробників від соціальних ефектів (мінімальна)
RRI	5	1	3	2	A: "етика лише на старті" — фактична відмова від корекції (мінімальна); B: визнання можливості пізніх етичних змін для зниження шкоди (відповідально); C: завершити проєкт і "потім подумати" — частково обґрунтовано, але слабко відповідально (компроміс)
RRI	6	1	3	2	A: прискорення попри неповну оцінку ризиків (мінімальна); B: баланс швидкості та

					відповідальності (відповідально); C: категорична відмова як обережність, але без контекстного балансування суспільної користі/ризиків (компроміс)
Відкритість/прозорість	7	1	2	3	A: утримання негативних результатів “всередині” (мінімальна); B: відкритість хоча б через репозитарії (компромісно-виважено); C: повна публікація як норма доброчесності та кумулятивності знання (відповідально)
Відкритість/прозорість	8	3	2	1	A: прийняття повторного використання як сутності open science (відповідально, за умови коректних ліцензій); B: акцент на атрибуції/ліцензуванні — практичний компроміс; C: “відкритість ≠ втрата контролю” як аргумент до обмеження відкритості (мінімально відповідально)
Відкритість/прозорість	9	1	3	2	A: максимальна відкритість без керування ризиком (мінімальна в чутливих/dual-use контекстах); B: контрольований доступ до технічних деталей (відповідальне розкриття); C: відмова від повного опису — може бути виправдано, але надто жорстко/ризик “невідтворюваності” (компроміс)
Dual-use / harm prevention	10	1	2	3	A: усвідомлення без зміни практик (мінімальна); B: внутрішня етична рефлексія без процедур (компроміс); C: формалізовані обмеження/процедури оцінки dual-use (відповідально)
Dual-use / harm prevention	11	1	3	2	A: “надихати, не лякати” — ігнорування інформованості та запобігання шкоді (мінімальна); B: баланс привабливості й відповідальності (відповідально); C: перекладання обговорення ризиків на регуляторів (компроміс)
Dual-use / harm prevention	12	1	2	3	A: спрощення публікації ціною замовчування ризиків (мінімальна); B: фіксація лише у внутрішніх документах (компроміс); C: наполягання на явному відображенні ризиків (відповідально)
Справедливість/інклюзивність	13	2	3	1	A: “експертна замкненість” як аргумент ефективності (компроміс); B: усвідомлення ризику вузького бачення без різноманіття (відповідально); C: інклюзія як “перешкода ефективності” (мінімальна)
Справедливість/інклюзивність	14	1	3	2	A: нормалізація мінімальної уваги до соціальних наслідків у технічних курсах (мінімальна); B: визнання впливу на формування відповідального мислення (відповідально); C: винесення в окремі курси — практичний компроміс (компроміс)
Справедливість/інклюзивність	15	1	3	2	A: легітимація невизнання праці з ризиків/комунікації (мінімальна); B: перегляд системи визнання внеску (відповідально); C: “добровільність” етичної роботи без інституційних гарантій (компроміс)

Coding anchors (Кодові якорі)

I. Екологічна етика в нанотехнологіях

Рівень 1 — мінімальна / неприйнятна відповідальність

- ігнорування наноспецифічної невизначеності (деградація, біоакумуляція, нелінійні ефекти);
- виправдання ризиків виключно суспільною користю або неминучістю прогресу;
- відсутність механізмів управління екологічними наслідками.

Рівень 2 — компромісна позиція

- часткове врахування життєвого циклу або екологічних ризиків;
- опора на процедури, регуляцію або "обмежене застосування" без власної ініціативи;
- визнання проблеми без системної відповіді.

Рівень 3 — етично виважене рішення

- усвідомлення специфіки наноризиків і екологічної невизначеності;
- застосування принципу обережності або LCA-логіки;
- готовність коригувати темпи чи спосіб впровадження технології.

II. Відповідальні інновації (RRI)

Рівень 1

- техноцентричне мислення ("ефективність понад усе");
- ігнорування соціальних або довгострокових наслідків інновації;
- перекладання відповідальності на ринок або регуляторів.

Рівень 2

- визнання соціальних або етичних аспектів без інтеграції в рішення;
- прагматичні компроміси між швидкістю, користю та ризиком;
- етичні дії як факультативні або вторинні.

Рівень 3

- інтеграція етичних міркувань у процес розробки й ухвалення рішень;
- готовність до корекції вже запущених інновацій;
- баланс між суспільною користю, ризиками та відповідальністю розробників.

III. Відкритість і прозорість (Open Science / Open Data)

Рівень 1

- селективна відкритість або приховування "незручних" результатів;
- максимальна відкритість без урахування ризиків (у чутливих випадках);
- пріоритет кар'єрних або інституційних вигод над доброчесністю.

Рівень 2

- часткова відкритість (репозитарії, відкладене розкриття, узагальнення);
- спроби балансувати між відкритістю та безпекою;
- фокус на формальних вимогах без рефлексії наслідків.

Рівень 3

- відповідальне розкриття (responsible openness);
- включення негативних результатів і варіабельності даних;
- застосування ліцензій, контрольованого доступу, пояснювальних метаданих.

IV. Подвійне використання / запобігання шкоді (dual-use)

Рівень 1

- повне зняття відповідальності з дослідника;
- нормалізація потенційно шкідливих сценаріїв;
- уникання обговорення ризиків.

Рівень 2

- усвідомлення dual-use без процедурних дій;
- фіксація ризиків у внутрішніх документах;
- індивідуальна обережність без інституційних механізмів.

Рівень 3

- явне проговорення потенціалу подвійного використання;
- ініціювання етичних обмежень або супроводу;
- баланс між відкритістю знань і запобіганням шкоді.

V. Справедливість та інклюзивність

Рівень 1

- легітимація нерівності доступу або визнання;
- знецінення соціального, етичного або комунікаційного внеску;
- аргументація “це не завдання науки”.

Рівень 2

- визнання проблеми без структурних змін;
- підтримка інклюзії на декларативному рівні;
- ситуативні або індивідуальні рішення.

Рівень 3

- активні механізми справедливого доступу та визнання;
- розуміння інклюзії як чинника якості рішень;
- інтеграція справедливості у практики команди або інституції.

Інструкція для кодерів

1. Мета інструкції

Ця інструкція розроблена для забезпечення **узгодженого та відтворюваного кодування відповідей** студентів на сценарні завдання, спрямовані на оцінювання рівня сформованості етичної відповідальності у сфері нанотехнологій.

Інструмент використовується **двічі**:

- до проходження навчального курсу (Раунд 1);
- після завершення курсу (Раунд 2),

що дозволяє здійснити **порівняльний pre/post аналіз**.

2. Загальні принципи кодування

1. **Не існує “правильних” або “неправильних” відповідей.**
   Оцінюється не вибір літери (A/B/C), а **тип етичного міркування**, який вона відображає.
2. **Кодування є сценарно-специфічним.**
   Одна й та сама літера (A, B або C) може відповідати різним рівням етичної відповідальності в різних сценаріях.
3. **Оцінюється позиція, а не наміри.**
   Кодер аналізує логіку рішення, закладену в обраному варіанті, а не можливі добрі наміри респондента.
4. **Кодування здійснюється незалежно для кожного сценарію.**
   Відповіді одного студента в різних сценаріях не впливають одна на одну.

3. Шкала оцінювання

Для кожного сценарію застосовується **трирівнева шкала**:

1 — етично неприйнятна або мінімально відповідальна позиція
Характеризується:

- ігноруванням специфічних наноризиків (масштаб, невизначеність, нелінійні ефекти);
- перекладанням відповідальності на зовнішніх акторів;
- технооптимізмом без етичної рефлексії.

2 — частково обґрунтована, компромісна позиція
Характеризується:

- визнанням проблеми без системної відповіді;
- процедурним або ситуативним балансуванням;
- частковою відповідальністю без інтеграції етичних міркувань у рішення.

3 — етично виважене, відповідальне рішення
Характеризується:

- усвідомленням наноспецифічної невизначеності;
- інтеграцією екологічних, соціальних та наукових аспектів;
- готовністю брати відповідальність за наслідки рішень.

4. Компонентні “якорі” кодування

Кодер повинен співвідносити кожну відповідь з **якорями відповідного компонента**:

- **Екологічна етика** — принцип обережності, життєвий цикл, екологічна невизначеність.
- **Відповідальні інновації (RRI)** — інтеграція етики у процес інновації, робота з ризиками.
- **Відкритість і прозорість** — відповідальне розкриття, робота з негативними результатами, чутливі дані.
- **Подвійне використання / запобігання шкоді** — усвідомлення dual-use, етичний супровід, обмеження.
- **Справедливість та інклюзивність** — доступ, визнання внеску, соціальна чутливість.

5. Процедура кодування

1. Кодер отримує:
    - перелік сценаріїв;
    - таблицю ключів (A/B/C → 1/2/3);
    - компонентні якорі.
2. Для кожного сценарію:
    - визначається, який варіант (A/B/C) обрав респондент;
    - відповідно до ключа присвоюється рівень 1, 2 або 3.
3. Кодування здійснюється **незалежно щонайменше двома кодерами**.
4. У разі розбіжностей:
    - фіксується первинна оцінка;
    - проводиться обговорення з опорою на якорі;
    - формується узгоджене рішення або обчислюється коефіцієнт надійності.

6. Інтерпретація результатів

- Окремі сценарії не аналізуються ізольовано.
- Основна увага приділяється:
    - середньому рівню за кожним компонентом;
    - змінам між Раундом 1 і Раундом 2;
    - зсувам від рівня 1 → 2 → 3.

Очікувані зсуви

1) Загальна гіпотеза ефекту курсу

Після проходження курсу очікується **зсув від "техноцентричного/самоусувного" мислення до рефлексивної, процедурно підкріпленої відповідальності**:

- зменшення частки рішень рівня **1** (ігнорування ризиків або перекладання відповідальності);
- збільшення частки рішень рівня **3** (інтегроване міркування + управління невизначеністю);
- перехід від "загальних гасел" до **конкретних механізмів**: LCA, принцип обережності, моніторинг, контрольований доступ до даних, етичний супровід, моделі справедливого доступу.

2) Очікувані зсуви за компонентами (5 блоків)

I. Екологічна етика

Очікуваний зсув: від оцінки "користь переважає" → до "користь + ризик + життєвий цикл + невизначеність".

До курсу (типово):

- перевага аргументів ефективності (energy saving, продуктивність) над еко-невизначеністю;
- схильність приймати невідомі екологічні наслідки як "потім з'ясуємо";
- слабка увага до етапів end-of-life (переробка, деградація, накопичення).

Після курсу (очікувано):

- частіше обираються рішення рівня **3**, де присутні:
  - принцип обережності щодо біоакумуляції/деградації наноматеріалів;
  - вимога або ініціація LCA/оцінки життєвого циклу;
  - обмежене впровадження з моніторингом як проміжна відповідальна стратегія.

Показник у даних: зростання середнього балу компонента та зменшення "С-типу виправдань" (*невизначеність = неминучість*).

II. Відповідальні інновації (RRI)

Очікуваний зсув: від "інновація = технічний успіх" → до "інновація = технічний успіх + соціальна легітимність + корекція ризиків".

До курсу:

- ранні етапи інновації трактуються як суто технічні;
- слабке включення стейкхолдерів/соціальних ефектів;
- піддатливість до інвесторського тиску (“швидше впровадити”).

Після курсу:

- більше рішень рівня **3**, де:
    - соціальні наслідки (витіснення практик/спільнот) є частиною оцінки;
    - допускається “етична корекція” навіть на пізніх стадіях проєкту;
    - з’являється баланс “швидкість–ризик–відповідальність”, а не крайнощі.

Показник у даних: зниження частки відповідей, що виправдовують прискорення без оцінки ризиків; зростання відповідей із логікою *adaptive governance*.

III. Відкритість та прозорість (open science/data)

Очікуваний зсув: від “відкритість як загальне благо або загроза кар’єрі” → до “відповідальна відкритість (responsible openness)”.

До курсу:

- тенденція приховувати негативні/варіативні дані;
- сприйняття відкритості як бінарної: або “все відкрити”, або “все закрити”;
- слабка увага до метаданих, ліцензування, контрольованого доступу.

Після курсу:

- більше відповідей рівня **3**, де:
    - визнається цінність негативних результатів (принаймні репозитарій);
    - використовується підхід “контрольований доступ” для чутливих деталей;
    - підкреслюється атрибуція/ліцензування як спосіб зберегти відкритість без втрати авторства.

Показник у даних: перехід від крайніх позицій до проміжних процедурних рішень; зростання прийняття репозитаріїв і “data stewardship” логіки.

IV. Подвійне використання / запобігання шкоді (dual-use)

Очікуваний зсув: від “це не наша відповідальність” → до “виявлення, проговорення і процедурне управління dual-use”.

До курсу:

- самоусунення (“знання нейтральне”, “регулятори вирішать”);
- недооцінка ролі комунікації ризиків;
- небажання ускладнювати публікації застереженнями.

Після курсу:

- зростання відповідей рівня **3**, де:
    - dual-use визнається як обов'язковий елемент рефлексії в нанотехнологіях;
    - підтримуються формалізовані процедури: етичний супровід, обмеження деталей, explicit risk statements;
    - комунікація ризиків розглядається як частина професійної відповідальності.

Показник у даних: зменшення "А-типу" (самоусунення) і зростання "С-типу" (формалізація процедур), особливо у сценаріях 10–12 Раунду 2.

V. Справедливість та інклюзивність

Очікуваний зсув: від "справедливість = не наша сфера" → до "інклюзія як чинник якості рішень і легітимності технологій".

До курсу:

- прийняття нерівного доступу як "нормального" для high-tech;
- недооцінка невидимого внеску (risk assessment, communication);
- інклюзія сприймається як "надбудова", не пов'язана з якістю.

Після курсу:

- більше відповідей рівня **3**, де:
    - визнається, що різноманіття перспектив знижує сліпі зони в оцінці ризиків;
    - пропонуються механізми визнання внеску (включно з етикою/безпекою);
    - справедливість доступу розглядається як частина відповідальної інновації.

Показник у даних: зростання готовності змінювати практики команди/інституції (а не лише "підтримати словами").

3) Гіпотези

H1. Після проходження курсу середній бал етичної відповідальності зросте в усіх 5 компонентах.
H2. Найбільший зсув очікується в компонентах **dual-use** та **open science**, оскільки вони часто є "невидимими" до спеціального навчання.
H3. Частка відповідей рівня **1** зменшиться, а рівня **3** — зросте, з переходом від бінарних позицій до процедурно обґрунтованих рішень.

ДОДАТОК Г

ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БЕРДЯНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
вул. Шмідта, 4, м. Бердянськ, Запорізька обл. 71100 Тел. +38(06153) 3-62-44, факс +38(06153) 4-74-68
E-mail: rector@bdpu.org.ua; http://bdpu.org Код згідно з ЄДРПОУ 02125220

16.09.2022 № 63-08/21 На № _____від _____

ПРОТОКОЛ № 2-1/2022

від 15 вересня 2022 р.

засідання Комітету з етики досліджень

Бердянського державного педагогічного університету

15 вересня 2022 р.

ПРИСУТНІ:

Голова Комітету: доктор педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри педагогіки вищої школи та управління навчальним закладом

Члени Комітету: 5 осіб (представники кафедр природничо-математичних і педагогічних наук, спеціаліст з академічної доброчесності, юрисконсульт університету)

Секретар: методист науково-дослідної частини університету

РОЗГЛЯДАЛИ:

Заявку дослідницької групи науково-дослідного проєкту № 0123U100110 в особі керівника проєкту Богданова Ігоря та членів групи: Ковачов Сергій, Лопатіна Ганна, Цибуляк Наталя, Сичікова Яна, Курило Ольга, Кривильова Олена.

Науково-методичне обгрунтування апробаційного дослідження, що передбачає апробацію сценарно-орієнтованого інструментарію оцінювання етичної відповідальності на вибірці здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти Бердянського державного педагогічного університету, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика та наноматеріали».

ОПИС ДОСЛІДЖЕННЯ:

Мета апробаційного дослідження: перевірити методичну доцільність сценарно-орієнтованого підходу до виявлення та аналізу рівня сформованості етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства в умовах відмови від формалізованого тестового контролю.

Вибірка: 10 (десять) здобувачів магістерського рівня вищої освіти БДПУ освітньо-професійної програми «Прикладна фізика та наноматеріали».

Методологія: трифазний дизайн дослідження, що охоплює: (1) початкове сценарне оцінювання рівня етичної відповідальності; (2) фасилітоване групове обговорення проблемно-орієнтованих етичних сценаріїв у галузі нанонауки; (3) повторне сценарне оцінювання для фіксації змін у логіці міркування та аргументації учасників.

Термін проведення: жовтень–листопад 2022 р. (2-й семестр навчального року). Усі заняття проводяться в онлайн-форматі за допомогою відеоконференцзв' язку з огляду на переведення університету до м. Запоріжжя.

Очікуваний ризик для учасників: мінімальний. Участь не передбачає фізичного чи психологічного навантаження, що виходить за межі звичайного навчального процесу. Збір персональних даних не здійснюється; усі відповіді є анонімними.

ВІДПОВІДНІСТЬ ЕТИЧНИМ НОРМАМ:

Комітет встановив, що дослідження відповідає вимогам Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації (у редакції 2013 р.) та чинному законодавству України у сфері захисту персональних даних і проведення наукових досліджень, зокрема:

— участь у дослідженні є цілком добровільною;

— від усіх учасників до початку їх залучення отримано інформовану згоду (форму погоджено з Комітетом);

— учасники поінформовані про право відмовитися або припинити участь у будь-який момент без жодних негативних наслідків для їх навчання;

— анонімність та конфіденційність відповідей учасників забезпечено на всіх етапах збору й обробки даних;

— дослідження не передбачає жодних форм маніпулятивного впливу, введення учасників в оману або ситуацій, що можуть завдати шкоди.

ВИРІШИЛИ:

1. Схвалити програму дослідження.

2. Підтвердити, що дослідження проводиться з дотриманням принципів Гельсінської декларації, участь є добровільною, а інформована згода отримана від кожного учасника до початку його залучення.

3. Дослідницькій групі дотримуватися вимог щодо конфіденційності даних, анонімності учасників та безпеки зібраних матеріалів упродовж усього часу проведення дослідження та після його завершення.

4. Зобов' язати дослідницькій групі невідкладно повідомляти Комітет про будь-які зміни в програмі дослідження або непередбачені обставини, що можуть вплинути на дотримання етичних стандартів.

Голова засідання Комітету
з етики досліджень _____ Анжеліка ШУЛЬЖЕНКО

Проректор з наукової роботи _____ Яна СИЧІКОВА

УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018, тел.: +38(0332)74-61-03
e-mail: rector@lntu.edu.ua, web: www.lntu.edu.ua
код ЄДРПОУ 05477296

24.04.2026 № 1073/01-14 на № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
КОВАЧОВА Сергія Сергійовича
на тему: «Формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 011 Освітні, педагогічні науки

Результати дисертаційного дослідження Ковачова Сергія Сергійовича впроваджено упродовж 2024-2026 років в освітній процес Луцького національного технічного університету у підготовці здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальностями «Матеріалознавство», «Електроніка, електронні комунікації приладобудування та радіотехніка», «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», «Екологія», «Агроінженерія».

Зокрема, у навчальний процес або як цикл самостійної підготовки інтегровано розроблений автором курс «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», спрямований на формування етичної відповідальності майбутніх фахівців, а також окремі його змістові модулі, що охоплюють проблематику сталого розвитку, відповідальних досліджень і інновацій, відкритості та прозорості наукової діяльності, подвійного використання технологій і запобігання шкоді.

У процесі підготовки здобувачів освіти використано запропоновані автором сценарно-орієнтовані завдання, міждисциплінарні етичні кейси та рефлексивні форми навчальної діяльності, що сприяють розвитку здатності до прийняття обґрунтованих професійних рішень в умовах невизначеності та оцінювання їх соціальних, екологічних і технологічних наслідків.

Також у навчальному процесі застосовано сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання етичної відповідальності, який дає змогу діагностувати рівень сформованості етичного міркування, аргументованості професійного вибору та відстежувати динаміку цих показників у процесі професійної підготовки.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження сприяло підвищенню якості професійної підготовки здобувачів освіти, розвитку їх критичного мислення, рефлексивних умінь та відповідального ставлення до результатів науково-технічної діяльності.

Матеріали дисертаційного дослідження є актуальними, мають теоретичну і практичну цінність та можуть бути рекомендовані для подальшого використання в освітньому процесі закладів вищої освіти.

Проректор з НПР та досліджень Олена ЛЮТАК

0501085442

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(СНАУ)

вул. Герасима Кондратьєва, 160 , м. Суми, 40021, тел. + 38 (0542) 70 10 10, факс: +38 (0542) 70 10 55
e-mail: admin@snau.edu.ua, https://snau.edu.ua
Код ЄДРПОУ 04718013

28 04 2026 № 01.0/03/835 На № _____ від ___ _____

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційного дослідження
КОВАЧОВА Сергія Сергійовича
на тему:
«Формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 011 Освітні, педагогічні науки

Результати дисертаційного дослідження Ковачова Сергія Сергійовича впроваджено в освітній процес Сумського національного аграрного університету у підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальностями **Агроінженерія, Електрична інженерія, Екологія, Біотехнології та біоінженерія**.

Зокрема, окремі положення дисертаційного дослідження, навчально-методичні матеріали та елементи авторського курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» використовуються у процесі викладання фахових і міждисциплінарних дисциплін, а також у межах самостійної та індивідуальної роботи здобувачів освіти як змістовні модулі, спрямовані на формування етичної відповідальності, критичного мислення та навичок прийняття професійних рішень.

У навчальному процесі застосовуються запропоновані автором сценарно-орієнтовані завдання та кейси, що моделюють професійні ситуації з урахуванням соціальних, екологічних і технологічних ризиків, а також сприяють розвитку рефлексивних умінь і здатності до оцінювання наслідків інноваційної діяльності.

Елементи сценарно-орієнтованого інструментарію оцінювання етичної відповідальності використовуються як засіб формувального оцінювання, що дозволяє відстежувати рівень сформованості етичного міркування, аргументованості професійного вибору та чутливості до потенційних наслідків прийнятих рішень.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження сприяє підвищенню якості підготовки здобувачів освіти, розвитку їхньої здатності діяти в умовах невизначеності, приймати відповідальні рішення та інтегрувати принципи сталого розвитку у професійну діяльність.

Матеріали дисертаційного дослідження є актуальними, мають теоретичну і практичну цінність та можуть бути рекомендовані для подальшого використання в освітньому процесі закладів вищої освіти.

Проректор з наукової
та міжнародної діяльності **Юрій ДАНЬКО**

УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ДМИТРА МОТОРНОГО
Юридична адреса: проспект Богдана Хмельницького 18, місто Мелітополь, Запорізька область, 72312
Фактична адреса: вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600, Україна
тел: (061) 289-12-99,: (099) 614-83-02, e-mail: office@tsatu.edu.ua код ЄДРПОУ 00493698

24.09.2018 № 11/196 на № _____ від _____

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційного дослідження
КОВАЧОВА Сергія Сергійовича
на тему:
«**Формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства**»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 011 Освітні, педагогічні науки

Результати дисертаційного дослідження Ковачова Сергія Сергійовича впроваджено в освітній процес Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного у підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальностями Агроінженерія, Електрична інженерія, Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, Екологія.

Зокрема, окремі результати дисертаційного дослідження, навчально-методичні матеріали та елементи авторського курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях» використовуються у межах викладання фахових дисциплін, а також у процесі самостійної та індивідуальної підготовки здобувачів освіти як змістові модулі, спрямовані на формування етичної відповідальності, критичного мислення та здатності до прийняття обґрунтованих професійних рішень.

У навчальному процесі застосовуються розроблені автором сценарно-орієнтовані завдання та кейси, що моделюють професійні ситуації в умовах невизначеності та враховують соціальні, екологічні та технологічні ризики сучасних інженерних і агротехнологічних рішень. Це сприяє розвитку рефлексивних умінь і формуванню відповідального ставлення до результатів професійної діяльності.

Елементи сценарно-орієнтованого інструментарію оцінювання етичної відповідальності використовуються як складова формувального оцінювання, що дозволяє діагностувати рівень сформованості етичного міркування, аргументованості професійного вибору та відстежувати динаміку цих показників у процесі підготовки здобувачів освіти.

Впровадження результатів дослідження сприяє підвищенню якості професійної підготовки майбутніх фахівців, формуванню їх здатності діяти в умовах технологічної складності та невизначеності, а також інтегрувати принципи сталого розвитку та відповідальних інновацій у професійну діяльність.

Матеріали дисертаційного дослідження є актуальними, мають теоретичну і практичну цінність та можуть бути рекомендовані для подальшого використання в освітньому процесі закладів вищої освіти.

Проректор з наукової роботи
Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного,
доктор технічних наук, професор Анатолій ПАНЧЕНКО