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 теоретично обґрунтовано, розроблено та експериментально перевірено структурно-функціональну модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, у якій етичну відповідальність визначено як системоутворювальний чинник професійної готовності. Актуальність дослідження зумовлена потребою модернізації професійної підготовки майбутніх фахівців для високотехнологічних і потенційно ризикогенних сфер діяльності, у яких професійні рішення мають не лише технологічні, а й соціальні, екологічні, безпекові та етичні наслідки. Мета дослідження полягає в теоретичному обґрунтуванні, розробленні та експериментальній перевірці ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

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 та реалізується за таких педагогічних умов: забезпечення розподіленого характеру формування етичної відповідальності; інтеграція курсу в структуру фахових дисциплін

замість його ізольованого викладання; відмова від формалізованого тестового контролю; реалізація фасилітативної ролі викладача; підтримка рефлексивного освітнього середовища; адаптація навчально-методичних матеріалів до різних освітніх контекстів; розроблено, психометрично обґрунтовано та апробовано сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, що ґрунтується на аналізі професійно релевантних етичних дилем і поєднує педагогічні та психометричні підходи;

уточнено поняття «готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства», «етична відповідальність», «формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства» з урахуванням міждисциплінарної природи нанонауки, вимог сталого розвитку, принципів відповідальних досліджень та інновацій, а також особливостей професійної діяльності у високотехнологічних і потенційно ризикогенних галузях; місце етичної відповідальності у структурі готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, що дозволило розглядати її не як окрему моральну характеристику, а як системоутворювальний чинник професійної готовності, пов’язаний із характером прийняття рішень в умовах невизначеності;

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; методичні підходи до формування етичної відповідальності у процесі професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на основі сценарного навчання;

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.

Готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства визначено як інтегровану характеристику, що охоплює когнітивний, практико-операційний та мотиваційно-ціннісний виміри й забезпечує здатність до усвідомленого, аргументованого та відповідального ухвалення професійних рішень. Етична відповідальність у структурі такої готовності трактується не як додатковий компонент, а як інтегрований, багатовимірний, системоутворювальний чинник професійної готовності, сформований у процесі професійної підготовки, який відображає здатність майбутнього фахівця усвідомлювати й оцінювати етичні, соціальні, екологічні та безпекові наслідки професійних рішень, діяти відповідально в умовах наукової невизначеності та нести відповідальність за наслідки такого вибору.

Визначено основні змістові виміри етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства: екологічну етику; відповідальність у дослідженнях та інноваціях; відкритість і прозорість наукової діяльності; відповідальність у контексті проблеми подвійного використання результатів досліджень і запобігання шкоді; відповідальність, пов’язану зі справедливістю та інклюзивністю у розподілі ризиків і корисності від упровадження нанотехнологій. Відповідно охарактеризовано критерії сформованості етичної відповідальності, що пов’язані зі здатністю ідентифікувати етичні аспекти професійних ситуацій, аналізувати альтернативи, враховувати потенційні наслідки рішень, усвідомлювати межі власної відповідальності та виявляти готовність брати її на себе.

Теоретично обґрунтовано та розроблено структурно-функціональну модель, у якій цільовий блок визначає спрямованість процесу формування

професійної готовності; методологічний відображає системний, ціннісно-орієнтований, компетентнісний, міждисциплінарний, рефлексивний і сценарний підходи; змістово-процесуальний охоплює форми, методи й засоби реалізації педагогічного впливу; діагностично-оцінювальний забезпечує перевірку динаміки сформованості етичної відповідальності. Реалізація моделі передбачає поетапну організацію процесу через актуалізаційний, аналітико-рефлексивний та інтеграційний етапи. Змістово-процесуальна реалізація моделі ґрунтується на сценарному підході та організації рефлексивно-імерсивного освітнього середовища, у межах якого здобувачі освіти залучаються до аналізу етичних дилем, колективного обговорення альтернатив, аргументації професійного вибору та осмислення відповідальності за наслідки ухвалених рішень. Обґрунтовано педагогічні умови її реалізації: формування позитивної ціннісної мотивації щодо усвідомлення етичних аспектів професійної діяльності; інтеграцію етичної проблематики у зміст фахової підготовки; спрямування навчання на аналіз складних професійних ситуацій в умовах невизначеності; розвиток систематичної рефлексії щодо власних професійних рішень і відповідальності за їхні наслідки.

Розроблено навчально-методичне забезпечення формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на засадах етичної відповідальності. Обґрунтовано доцільність курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», побудованого на сценарному підході та реалізованого в рефлексивно-імерсивному освітньому середовищі, орієнтованому на занурення здобувачів освіти в аналіз професійних ситуацій без однозначно правильних рішень, групове обговорення альтернатив і осмислення етичних наслідків професійного вибору. Навчально-методичне забезпечення охоплює сценарні завдання, презентаційні матеріали, відеоматеріали, інфографіку, ментальні карти, чек-листи, гайди та інші дидактичні засоби, що забезпечують інтеграцію етичної проблематики у фахову підготовку.

Експериментальна перевірка ефективності розробленої моделі здійснювалася в умовах реального освітнього процесу. Результати дослідження засвідчили позитивну динаміку у сформованості етичної відповідальності, зокрема зростання частки більш етично обґрунтованих рішень, підвищення узагальнених показників та посилення зв'язків між окремими компонентами. Достовірність і надійність одержаних результатів підтверджено комплексом статистичних і психометричних процедур, зокрема застосуванням описової статистики, аналізу внутрішньої узгодженості шкал, аналізу дискримінативності окремих сценарних завдань і показників, а також порівняльного аналізу результатів первинного та повторного вимірювань. Отримані результати дали підстави стверджувати, що розроблена модель виявила ефективність у формуванні етичної відповідальності як системоутворювального чинника готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблено та апробовано курс «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», спрямований на формування етичної відповідальності, побудований на сценарному підході та реалізований в умовах рефлексивно-імерсивного освітнього середовища, а також сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання етичної відповідальності.

Курс орієнтовано на аналіз професійно релевантних етичних дилем у сфері нанонауки й нанотехнологій. Його зміст структуровано за ключовими тематичними вимірами, що охоплюють екологічну етику, відповідальні дослідження та інновації, відкритість і прозорість наукової діяльності, проблему подвійного використання результатів досліджень і запобігання шкоді, а також справедливість та інклюзію.

Навчально-методичне забезпечення курсу включає сценарні завдання, презентаційні матеріали, відеоматеріали, інфографіку, ментальні карти, чек-листи, гайди та інші дидактичні засоби, придатні для використання як у межах окремого курсу, так і в інтегрованому форматі у структурі фахових дисциплін.

Сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання етичної відповідальності дає змогу діагностувати рівень сформованості етичного міркування, аргументованості професійного вибору, чутливості до соціальних, екологічних, безпекових і моральних наслідків рішень, а також відстежувати динаміку цих показників у процесі професійної підготовки.

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

The dissertation theoretically substantiates, develops, and experimentally verifies a structural-functional model for forming the readiness for professional activity of future specialists in the field of nanomaterials science, in which ethical responsibility is defined as a system-forming factor of professional readiness. The relevance of the study is determined by the need to modernize the professional training of future specialists for high-technology and potentially risk-generating fields of activity, in which professional decisions have not only technological but also social, environmental, safety-related, and ethical consequences. The aim of the study is to theoretically substantiate, develop, and experimentally verify the effectiveness of the structural-functional model for forming the readiness for professional activity of future specialists in the field of nanomaterials science.

For the first time: the effectiveness of a structural-functional model for forming the readiness for professional activity of future specialists in the field of nanomaterials science has been theoretically substantiated, developed, and experimentally verified. The model includes target, methodological, content-process, and diagnostic-evaluative blocks and is implemented under the following pedagogical conditions: ensuring the distributed nature of ethical responsibility formation; integrating the course into the structure of professional disciplines instead of teaching it in isolation; rejecting formalized test-based assessment; implementing the facilitative role of the teacher; supporting a reflective educational environment;

and adapting educational and methodological materials to different educational contexts. A scenario-oriented toolkit for assessing the ethical responsibility of future specialists in the field of nanomaterials science has been developed, psychometrically substantiated, and tested; it is based on the analysis of professionally relevant ethical dilemmas and combines pedagogical and psychometric approaches.

The concepts of "readiness for professional activity of future specialists in the field of nanomaterials science", "ethical responsibility", and "formation of readiness for professional activity of future specialists in the field of nanomaterials science" have been clarified, taking into account the interdisciplinary nature of nanoscience, the requirements of sustainable development, the principles of responsible research and innovation, and the specific features of professional activity in high-technology and potentially risk-generating fields; the place of ethical responsibility in the structure of readiness for professional activity of future specialists in the field of nanomaterials science has also been clarified, which made it possible to consider it not as a separate moral characteristic but as a system-forming factor of professional readiness associated with the nature of decision-making under conditions of uncertainty.

The content of professional training for future specialists in the field of nanomaterials science has been improved by including scenario-oriented tasks, reflective forms of learning activity, and interdisciplinary ethical cases that contribute to the formation of a responsible attitude toward scientific decisions, innovations, and their social, environmental, and technological consequences; methodological approaches to forming ethical responsibility in the process of professional training of future specialists in the field of nanomaterials science have been improved on the basis of scenario-based learning.

The ideas of professional training for future specialists in the field of nanomaterials science based on systemic, competence-based, interdisciplinary, value-oriented, reflective, and scenario-based approaches have been further developed; scientific understanding of the pedagogical mechanisms for integrating

ethics, sustainable development, and responsible innovation into the training of specialists for high-technology fields has also been further developed, with an emphasis on forming ethical maturity and responsibility under conditions of uncertainty and the multiplicity of acceptable decisions.

Readiness for professional activity of future specialists in the field of nanomaterials science is defined as an integrated characteristic that encompasses cognitive, practical-operational, and motivational-value dimensions and ensures the ability to make conscious, reasoned, and responsible professional decisions. Ethical responsibility within the structure of such readiness is interpreted not as an additional component but as an integrated, multidimensional, system-forming factor of professional readiness, formed in the process of professional training, which reflects the future specialist's ability to recognize and evaluate the ethical, social, environmental, and safety-related consequences of professional decisions, to act responsibly under conditions of scientific uncertainty, and to take responsibility for the consequences of such choices.

The main content dimensions of the ethical responsibility of future specialists in the field of nanomaterials science have been defined: environmental ethics; responsibility in research and innovation; openness and transparency of scientific activity; responsibility in the context of the problem of dual use of research results and harm prevention; and responsibility related to justice and inclusion in the distribution of risks and benefits arising from the implementation of nanotechnologies. Accordingly, the criteria for the formation of ethical responsibility have been characterized; they are related to the ability to identify ethical aspects of professional situations, analyze alternatives, consider the potential consequences of decisions, understand the limits of one's own responsibility, and demonstrate readiness to assume it.

A structural-functional model has been theoretically substantiated and developed, in which the target block determines the orientation of the process of forming professional readiness; the methodological block reflects systemic, value-oriented, competence-based, interdisciplinary, reflective, and scenario-based

approaches; the content-process block covers the forms, methods, and means of implementing pedagogical influence; and the diagnostic-evaluative block ensures the assessment of the dynamics in the formation of ethical responsibility. The implementation of the model involves a staged organization of the process through actualization, analytical-reflective, and integration stages. The content-process implementation of the model is based on the scenario-based approach and the organization of a reflective-immersive educational environment, within which students are involved in analyzing ethical dilemmas, collectively discussing alternatives, substantiating professional choices, and reflecting on responsibility for the consequences of the decisions made. The pedagogical conditions for its implementation have been substantiated: forming positive value motivation for recognizing the ethical aspects of professional activity; integrating ethical issues into the content of professional training; directing learning toward the analysis of complex professional situations under conditions of uncertainty; and developing systematic reflection on one's own professional decisions and responsibility for their consequences.

Educational and methodological support has been developed for forming the readiness for professional activity of future specialists in the field of nanomaterials science on the basis of ethical responsibility. The appropriateness of the course "Ethics in Nanoscience and Nanotechnology" has been substantiated; the course is built on a scenario-based approach and implemented in a reflective-immersive educational environment focused on immersing students in the analysis of professional situations that do not have unambiguously correct solutions, group discussion of alternatives, and reflection on the ethical consequences of professional choice. The educational and methodological support includes scenario tasks, presentation materials, video materials, infographics, mind maps, checklists, guides, and other didactic tools that ensure the integration of ethical issues into professional training.

The experimental verification of the effectiveness of the developed model was carried out under real educational-process conditions. The research results

demonstrated positive dynamics in the formation of ethical responsibility, in particular an increase in the share of more ethically substantiated decisions, improvement in generalized indicators, and strengthening of the relationships between individual components. The validity and reliability of the obtained results were confirmed by a set of statistical and psychometric procedures, including descriptive statistics, analysis of the internal consistency of scales, analysis of the discriminative capacity of individual scenario tasks and indicators, and comparative analysis of the results of the initial and repeated measurements. The obtained results made it possible to state that the developed model proved effective in forming ethical responsibility as a system-forming factor of readiness for professional activity of future specialists in the field of nanomaterials science.

The practical significance of the obtained results lies in the fact that the course "Ethics in Nanoscience and Nanotechnology", aimed at forming ethical responsibility and built on a scenario-based approach implemented in a reflective-immersive educational environment, has been developed and tested, along with a scenario-oriented toolkit for assessing ethical responsibility.

The course is focused on the analysis of professionally relevant ethical dilemmas in the field of nanoscience and nanotechnology. Its content is structured according to key thematic dimensions, including environmental ethics, responsible research and innovation, openness and transparency of scientific activity, the problem of dual use of research results and harm prevention, as well as justice and inclusion.

The educational and methodological support of the course includes scenario tasks, presentation materials, video materials, infographics, mind maps, checklists, guides, and other didactic tools suitable for use both within a separate course and in an integrated format within the structure of professional disciplines.

The scenario-oriented toolkit for assessing ethical responsibility makes it possible to diagnose the level of formation of ethical reasoning, the substantiation of professional choice, sensitivity to the social, environmental, safety-related, and

moral consequences of decisions, and to track the dynamics of these indicators in the process of professional training.

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 39

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА 43

1.1. Концептуальне поле професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства 43

1.2. Структура готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства та етична відповідальність як її системоутворювальний чинник 63

Висновки до розділу 1 90

Список використаних джерел до розділу 1 92

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 158

Висновки до розділу 2 170

Список використаних джерел до розділу 2 174

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ФОРМУВАННЯ ГОТОВНОСТІ ДО ПРОФЕСІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ У ГАЛУЗІ НАНОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА 181
3.1. Організація перевірки ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства 181
3.2. Аналіз результатів перевірки ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства 191
Висновки до розділу 3 212
Список використаних джерел до розділу 3 215
ВИСНОВКИ 220
ДОДАТКИ 223

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). 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*:

– 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 та оцінювання етичної відповідальності як системоутворювального чинника 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 етичної відповідальності як системоутворювального чинника 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. Визначити теоретико-методологічні засади формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства та обґрунтувати місце етичної відповідальності в структурі цієї готовності.

2. Охарактеризувати критерії сформованості етичної відповідальності та розробити інструментарій її оцінювання у структурі готовності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства до професійної діяльності.

3. Розробити навчально-методичне забезпечення формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на засадах етичної відповідальності як системоутворювального чинника.

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:* включали 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 етичної відповідальності (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 та реалізується за таких педагогічних умов: забезпечення розподіленого характеру формування етичної відповідальності; інтеграція курсу в структуру фахових дисциплін

замість його ізольованого викладання; відмова від формалізованого тестового контролю; реалізація фасилітативної ролі викладача; підтримка рефлексивного освітнього середовища; адаптація навчально-методичних матеріалів до різних освітніх контекстів;

– розроблено, психометрично обґрунтовано та апробовано сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, що ґрунтується на аналізі професійно релевантних етичних дилем і поєднує педагогічні та психометричні підходи;

уточнено

– поняття «готовність до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства», «етична відповідальність», «формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства» з урахуванням міждисциплінарної природи нанонауки, вимог сталого розвитку, принципів відповідальних досліджень та інновацій, а також особливостей професійної діяльності у високотехнологічних і потенційно ризикогенних галузях;

– місце етичної відповідальності у структурі готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, що дозволило розглядати її не як окрему моральну характеристику, а як системоутворювальний чинник професійної готовності, пов’язаний із характером прийняття рішень в умовах невизначеності;

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;

– методичні підходи до формування етичної відповідальності у процесі професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на основі сценарного навчання;

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 отриманих результатів дослідження полягає в тому, що розроблено та апробовано курс «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», спрямований на формування етичної відповідальності, побудований на сценарному підході та реалізований в умовах рефлексивно-імерсивного освітнього середовища, а також сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання етичної відповідальності.

Курс орієнтовано на аналіз професійно релевантних етичних дилем у сфері нанонауки й нанотехнологій. Його зміст структуровано за ключовими тематичними вимірами, що охоплюють екологічну етику, відповідальні дослідження та інновації, відкритість і прозорість наукової діяльності, проблему подвійного використання результатів досліджень і запобігання шкоді, а також справедливість та інклюзію. Навчально-методичне забезпечення курсу включає сценарні завдання, презентаційні матеріали, відеоматеріали, інфографіку, ментальні карти, чек-листи, гайди та інші дидактичні засоби, придатні для використання як у межах окремого курсу, так і в інтегрованому форматі у структурі фахових дисциплін.

Сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання етичної відповідальності дає змогу діагностувати рівень сформованості етичного

міркування, аргументованості професійного вибору, чутливості до соціальних, екологічних, безпекових і моральних наслідків рішень, а також відстежувати динаміку цих показників у процесі професійної підготовки.

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).

Сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання етичної відповідальності може застосовуватися в практиці освітнього оцінювання для діагностики рівнів сформованості етичної відповідальності як системоутворювального чинника готовності до професійної діяльності, а також для моніторингу змін у характері етичних міркувань здобувачів освіти в процесі навчання. Інструментарій може використовуватися у викладанні навчальних дисциплін етичного, професійного та міждисциплінарного спрямування, а також у програмах підвищення кваліфікації та післядипломної освіти.

Матеріали дослідження, зокрема сценарно-орієнтовані завдання, міждисциплінарні етичні кейси та рефлексивні форми навчальної діяльності, можуть бути інтегровані в освітні програми підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства, матеріалознавства, прикладної фізики, інженерії та інших високотехнологічних напрямів з метою формування відповідального ставлення до наукових рішень, інновацій та їхніх соціальних, екологічних і технологічних наслідків.

Результати дослідження можуть бути використані під час розроблення та оновлення освітніх стандартів, освітньо-професійних програм і навчально-методичного забезпечення з урахуванням принципів сталого розвитку, відповідальних досліджень та інновацій, академічної доброчесності та

відкритої науки, а також у діяльності науково-методичних підрозділів закладів вищої освіти.

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).

– Міжнародній науково-практичниій конференціях «Actual Problems in the System of Education: General Secondary Education Institution – Pre-University Training – Higher Education Institution» (2023, м. Київ, Україна);

– Міжнародній науково-практичній конференції «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 24 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).

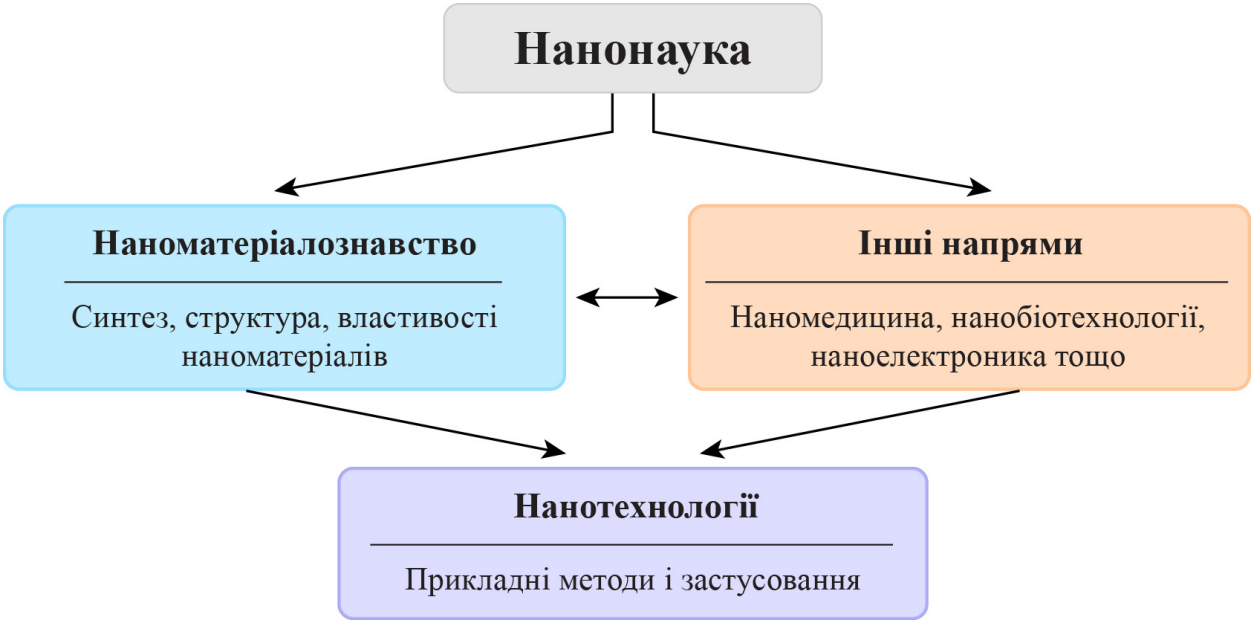


Рис. 1.1 Ієрархічно-функціональний зв’язок нанонауки, наноматеріалознавства та нанотехнологій

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.*

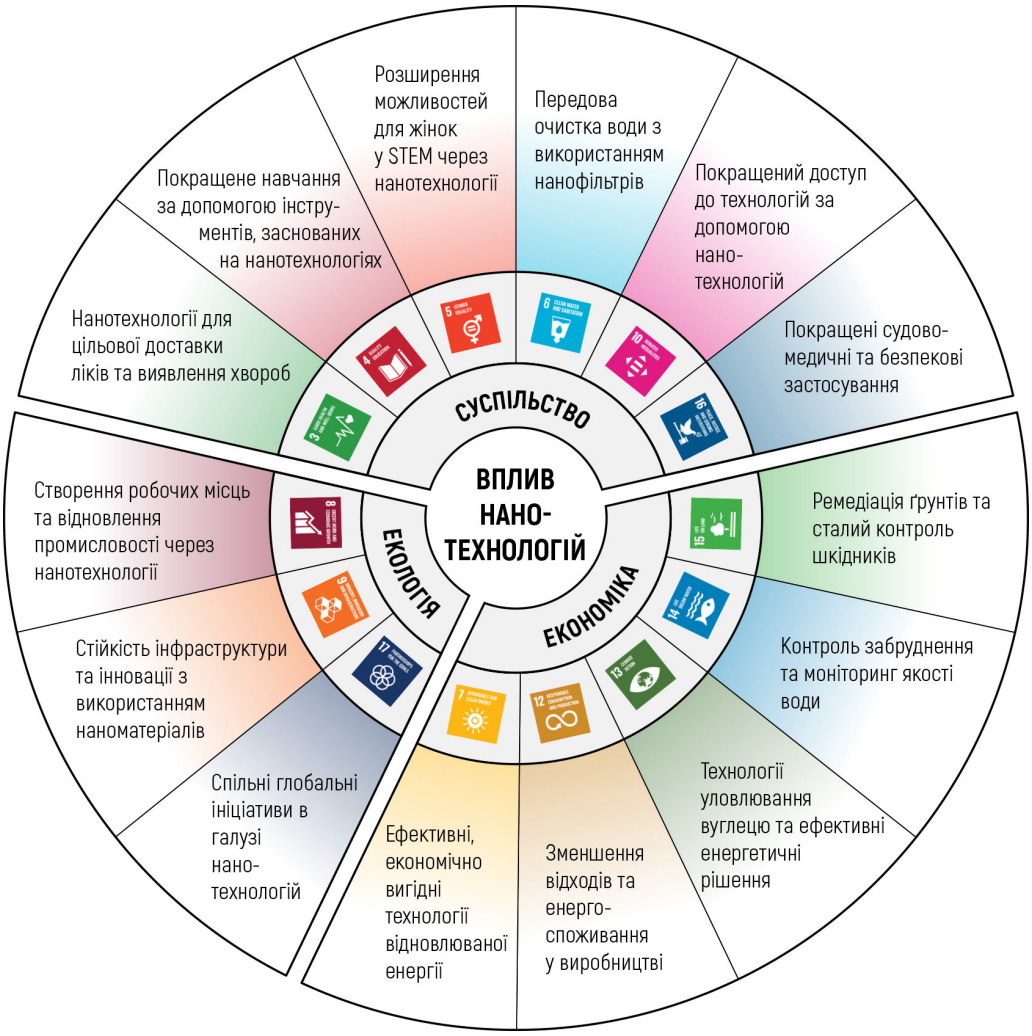


Рис. 1.2 Професійне середовище реалізації діяльності фахівців у галузі наноматеріалознавства

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	– Синтез і характеризація наноматеріалів – Наноматеріали для енергетичних застосувань – Наноелектронні матеріали – Нанофотонні матеріали – Біомедичні наноматеріали – Нанобіоматеріали

		– Викладачі та науково-педагогічні працівники	

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 та етична відповідальність як її системоутворювальний чинник

З огляду на міждисциплінарний характер галузі наноматеріалознавства та її потенційний вплив на суспільство, важливо дослідити баланс між

технічними навичками та ширшими компетенціями. Критичне мислення, інтеграція знань і етична відповідальність є ключовими елементами, що формують майбутнє нанонауки та сприяють її сталому розвитку.

Враховуючи невизначеність дослідників щодо рамки загальних та спеціальних компетентностей для майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, це дослідження прагне відповісти на такі дослідницькі запитання: Яка відносна важливість когнітивних, практико-операційних та мотиваційно-ціннісних навичок у сфері нанонауки, як це сприймають ключові зацікавлені сторони? Як різні групи зацікавлених сторін, такі як академічні дослідники, професіонали галузі, здобувачі освіти, політики та етики, ставлять пріоритети цим навичкам у контексті нанонауки? Ці запитання мали на меті забезпечити більш повне розуміння наборів навичок, необхідних для майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, і зробити внесок у ширший дискурс про те, як освітні програми та ініціативи професійного розвитку можуть бути вдосконалені, щоб підготувати майбутні покоління до нових вимог галузі.

Для проведення дослідження було розроблено структурований опитувальник, який мав на меті оцінити відносну важливість когнітивних, практично-операційних та мотиваційно-ціннісних навичок серед професіоналів у галузі наноматеріалознавства (Kovachov et al., 2024). Опитувальник був розділений на кілька секцій, кожна з яких охоплювала один із трьох основних типів навичок: когнітивні, практико-операційні та мотиваційно-ціннісні. Учасники дослідження оцінювали важливість кожної навички 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 навичок 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 були сформульовані на основі дослідницьких питань, які стосувалися когнітивних, практико-операційних та мотиваційно-ціннісних навичок у професійній діяльності фахівців у галузі наноматеріалознавства. Кожне питання було спрямоване на оцінку одного з трьох основних типів навичок, визначених в рамках дослідження. 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 когнітивних навичок, блоку практико-операційних навичок, блоку мотиваційно-ціннісних навичок.

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 когнітивних навичок 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-операційних навичок 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-ціннісних навичок 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 кожної навички 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 навичок у когнітивному кластері серед різних груп зацікавлених сторін у сфері нанонауки. У наведеній нижче таблиці представлено середню оцінку кожної навички за шкалою від 1 (не важливо) до 5 (надзвичайно важливо) за різними групами зацікавлених сторін.

Таблиця 1.4

Результати опитування блоку когнітивні навички

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.

Таблиця 1.5

Результати опитування блоку практико-операційних навичок

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.

Таблиця 1.6

Результати опитування блоку мотиваційно-ціннісних навичок

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.

Передбачувана компетентність 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. 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).

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».

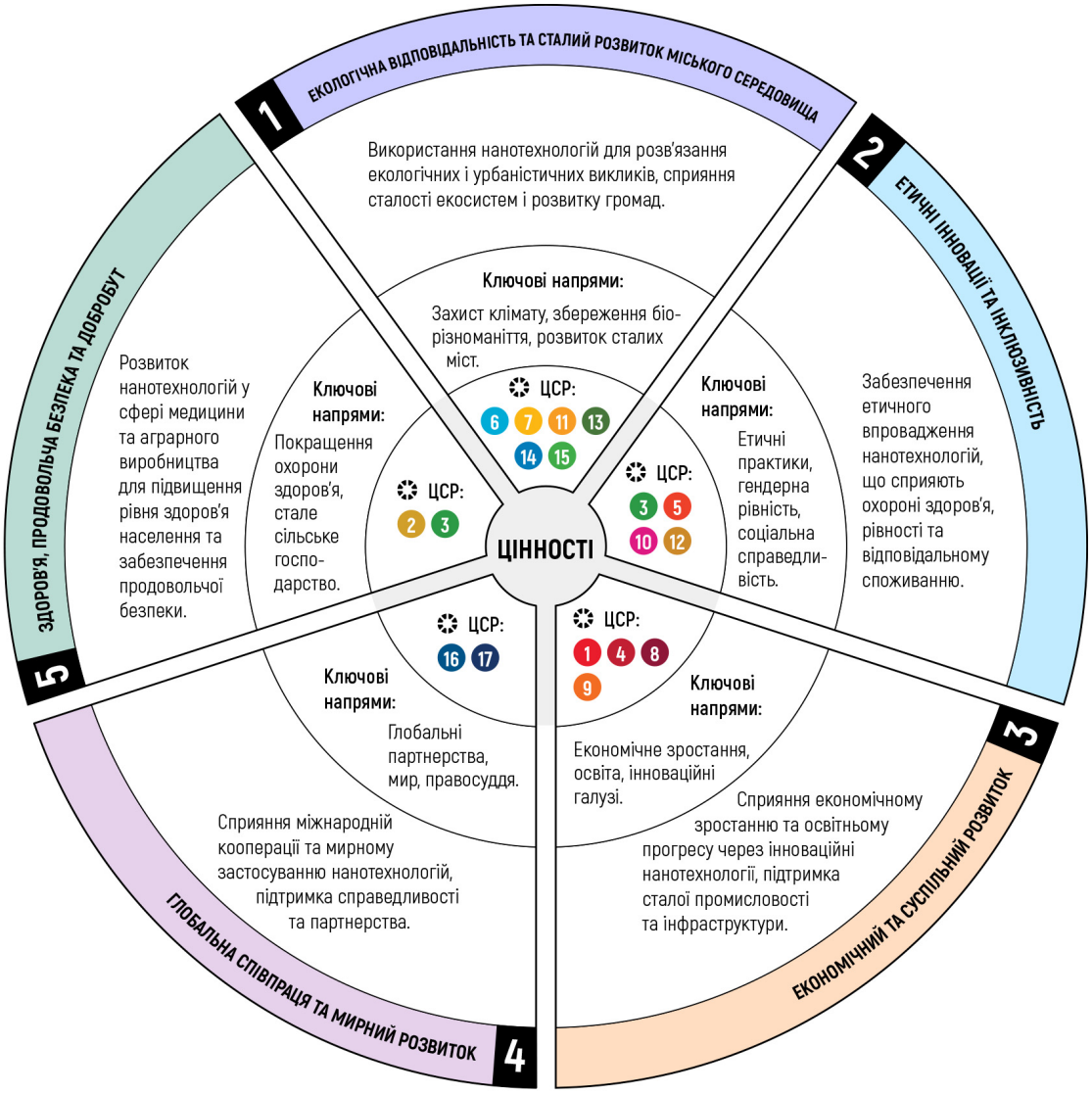


Рис. 1.3 Рамка цінностей фахівця в галузі наноматеріалознавства для досягнення цілей сталого розвитку

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 її сформованості:

1. *екологічна етика*, що відображає екоспроможність професійних рішень і здатність оцінювати вплив наноматеріалів на довкілля протягом усього життєвого циклу;

2. *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;

3. *прозорість і відкритість*, пов'язані з дотриманням принципів відкритої науки, відповідального управління дослідницькими даними та наукової доброчесності;

4. *запобігання шкоді*, що включає усвідомлення ризиків подвійного призначення (dual-use) та здатність мінімізувати потенційно небезпечні або зловмисні застосування результатів досліджень;

5. *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 у роботі уточнюється поняття *етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства як інтегрованого, багатовимірного, системоутворювального чинника професійної готовності, сформованого у процесі професійної підготовки, який відображає здатність майбутніх фахівців 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.

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 етичної відповідальності 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 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 визначено теоретико-методологічні засади формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства та обґрунтовано місце етичної відповідальності в структурі цієї готовності.

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 етичної відповідальності у структурі професійної готовності.

Узагальнення теоретичних положень розділу дало підстави щодо необхідності емпіричного уточнення структури та пріоритетних компонентів готовності до професійної діяльності майбутнього фахівця 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.

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. https://doi.org/10.1109/jproc.2003.818326

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, наведена на 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.

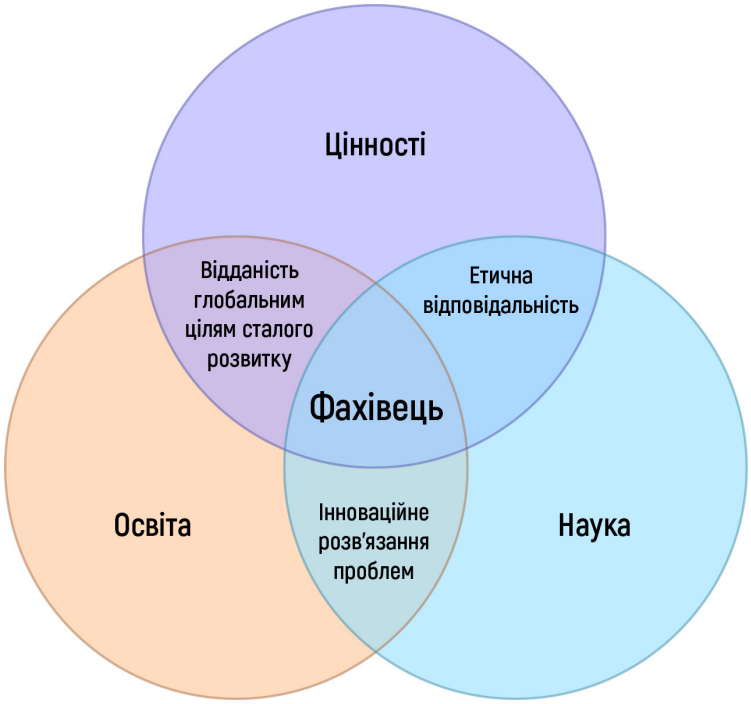


Рис. 2.1 Імерсивне освітнє середовище підготовки фахівців у галузі наноматеріалознавства

На перетині науки і цінностей центральне місце посідає етична відповідальність, що підкреслює значущість етичного виміру наукової діяльності та формування етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності майбутніх фахівців. 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 вирощуванні 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.

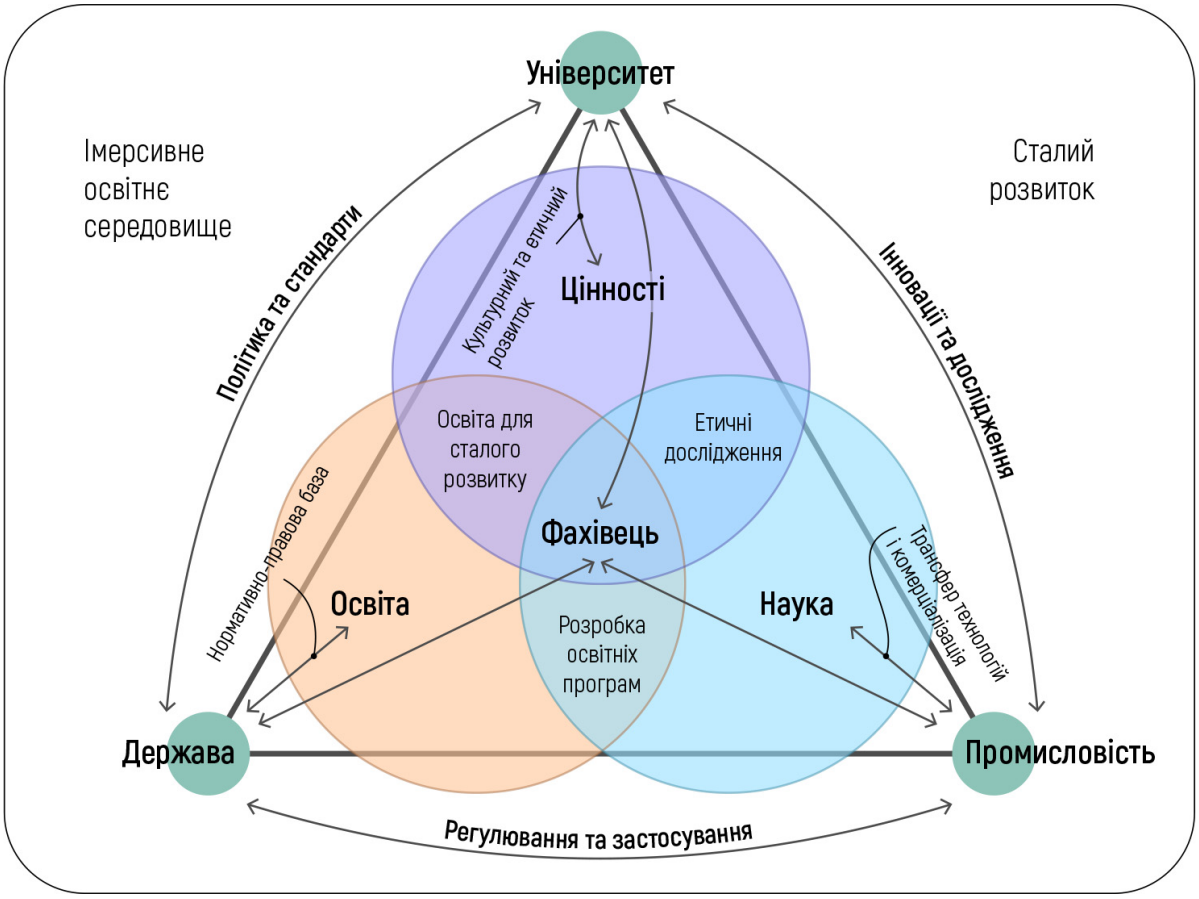


Рис. 2.2 Екосистема наноосвіти

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» розроблено в межах дисертаційного дослідження як освітній інструмент формування етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. 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 етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності, 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 етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності 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 ціннісного компоненту готовності, 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 етичної відповідальності як системоутворювального чинника.

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 ціннісного компоненту готовності. 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 етична відповідальність 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 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 етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності майбутнього фахівця 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 етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності майбутнього фахівця 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 етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності майбутнього фахівця, 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 етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства ґрунтується на поєднанні кількох взаємопов'язаних методологічних підходів, кожен з яких розкриває окремий аспект цього процесу. Таке поєднання дає змогу розглядати етичну відповідальність не як ізольовану моральну характеристику, а як складне інтегроване утворення, що формується в єдності змісту, цінностей, досвіду професійної діяльності, міждисциплінарної взаємодії та особистісного осмислення.

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 етичної відповідальності 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 етичної відповідальності. 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 етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності в межах основного дослідження. Досягнення поставленої мети передбачало розв'язання таких завдань:

1. апробувати сценарно-орієнтований інструментарій оцінювання етичної відповідальності на вибірці здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти;

2. перевірити логіку диференціації рівнів сформованості етичної відповідальності (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 2-го семестру (жовтень-листопад) 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.

Примітно, що 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. Ці фази відповідають структурі, зображеній на малюнку 1.

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.

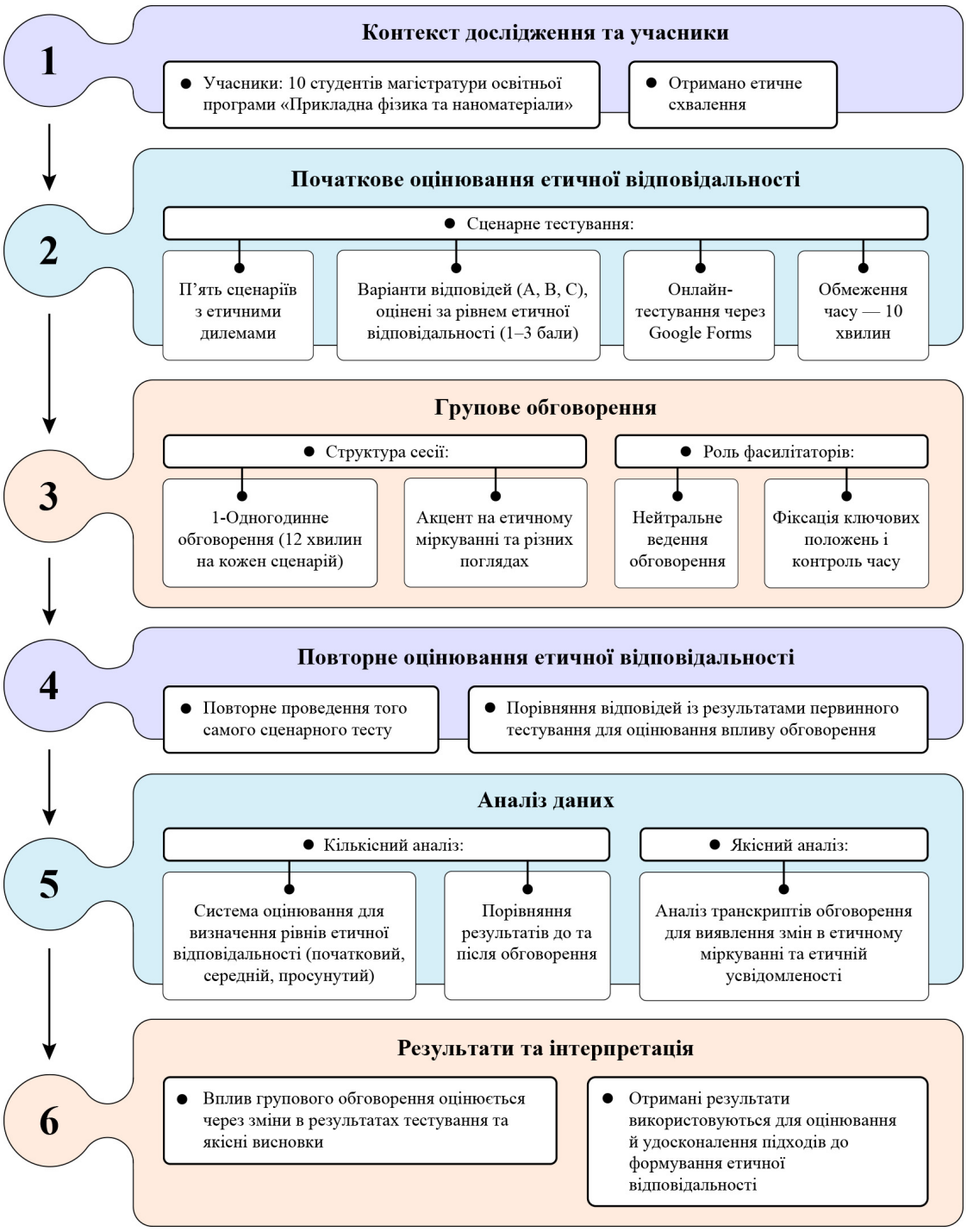


Рис. 2.3 Процес дослідження для оцінки формування етичної відповідальності

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 проводилося 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 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 модераторами 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 етичної відповідальності. 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. Ці сценарії докладно описано нижче.

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	B: Ви надаєте загальну інформацію, не розголошуючи жодних конфіденційних деталей.	2
	Б: Ввічливо відмовитися від обговорення проекту, посилаючись на конфіденційність.	3

деталей дослідження. Пізніше на конференції дослідник з іншої установи запитує про ваші методи	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 та помічаєте, що дослідження дуже нагадує роботу вашої команди, але з деякими сумнівними висновками	A: Напишіть об'єктивний огляд, вказавши на сумнівні висновки, не розголошуючи аналогічну роботу вашої команди.	3
	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	B: Негайно виправте дослідника та повідомте про інцидент керівнику лабораторії.	3
	B: Попередьте дослідника та проведіть додатковий інструктаж з безпеки.	2

протоколів безпеки під час роботи з потенційно небезпечними наноматеріалами.	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 проекту.	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 :

– Початкова оцінка етичної відповідальності: 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.

– Оцінка етичної відповідальності 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 етичну відповідальність студентів.

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 етичної відповідальності студентів визначали за сумарним балом (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Рівні формування етичної відповідальності

Рівень	Загальний бал	Опис
Початковий	5 – 8	Базовий рівень етичної відповідальності
Середній	9 – 12	Більш розвинена, але не до кінця вдосконалена етична відповідальність
Просунутий	13 – 15	Високий рівень сформованості етичної відповідальності

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 етичну відповідальність студентів. Підвищення результатів тестів після обговорення свідчило про підвищення етичної відповідальності. 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 В), загалом продемонстрували більш обережний підхід, наголошуючи на етичній та юридичній відповідальності, притаманній дослідницькій роботі. Навпаки, студенти, схильні ділитися інформацією (варіанти А і С), 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 етичної відповідальності показують помітне покращення етичної відповідальності 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 етичної відповідальності здобувачів освіти магістерського рівня спеціальності «Прикладна фізика та наноматеріали» за допомогою двоетапної методології, яка включала початкове тестування, групове обговорення та повторне оцінювання етичної відповідальності. 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 спостережене 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. Грунтуючись на результатах цього дослідження, ми пропонуємо кілька цільових рекомендацій щодо інтеграції освіти з етики в навчальні програми з нанонаук. Вони підсумовані в таблиці 2.5 нижче.

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 етична освіта в нанонауці 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).

Підсумовуючи, 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 розвитку етичної відповідальності.

Нарешті, групові дискусії могли викликати вплив однолітків і 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 етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства як системоутворювального чинника професійної готовності, що забезпечує усвідомлене, аргументоване та відповідальне ухвалення рішень.

У межах цієї моделі етична відповідальність трактується не як сукупність формально засвоєних норм і приписів, а як внутрішньо прийнята здатність до обґрунтованого етичного міркування, що формується завдяки систематичній рефлексії власної професійної діяльності, ціннісних орієнтацій та усвідомленню меж особистої відповідальності.

Формування етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства передбачає створення таких педагогічних умов, які сприяють активізації ціннісно-рефлексивних механізмів професійного мислення. Йдеться про формування в майбутніх фахівців 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 професійної готовності майбутніх фахівців.

Структурно-функціональна модель базується на визнанні людини, суспільства та довкілля як ключових адресатів і бенефіціарів 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 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 етичної відповідальності як системоутворювального чинника готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства.

Ефективність структурно-функціональної моделі оцінюється за рівнем сформованості етичної відповідальності 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 етичної відповідальності: 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 етичної відповідальності, зокрема потенціал міждисциплінарних підходів, сценарного навчання, рефлексивного обговорення та аналітичної роботи з етичними дилемами.

Формою розробки обрано структурно-функціональну модель, яка дозволяє відобразити взаємозв'язки між метою, методологічними засадами, змістово-процесуальними та діагностичним блоками, очікуваним результатом формування етичної відповідальності як системоутворювального чинника готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Обрана форма моделі забезпечує цілісне бачення процесу формування етичної відповідальності та створює підґрунтя для її подальшого теоретичного аналізу й практичної реалізації.

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).

Системоутворювальним фактором структурно-функціональної моделі визначено етичну відповідальність, яка поєднує окремі змістові виміри моделі в цілісну систему та визначає спрямованість усіх її компонентів.

У процесі розробки моделі встановлено взаємозв'язки між цільовим, методологічним, змістово-процесуальним і діагностичним блоками, що забезпечують логічну узгодженість процесу формування етичної відповідальності та можливість його поетапного аналізу.

Розроблена структурно-функціональна модель є логічно завершеною системою, яка створює методологічне підґрунтя для подальшого аналізу процесу формування етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства та може бути використана як теоретична основа для організації й оцінювання відповідних педагогічних впливів.

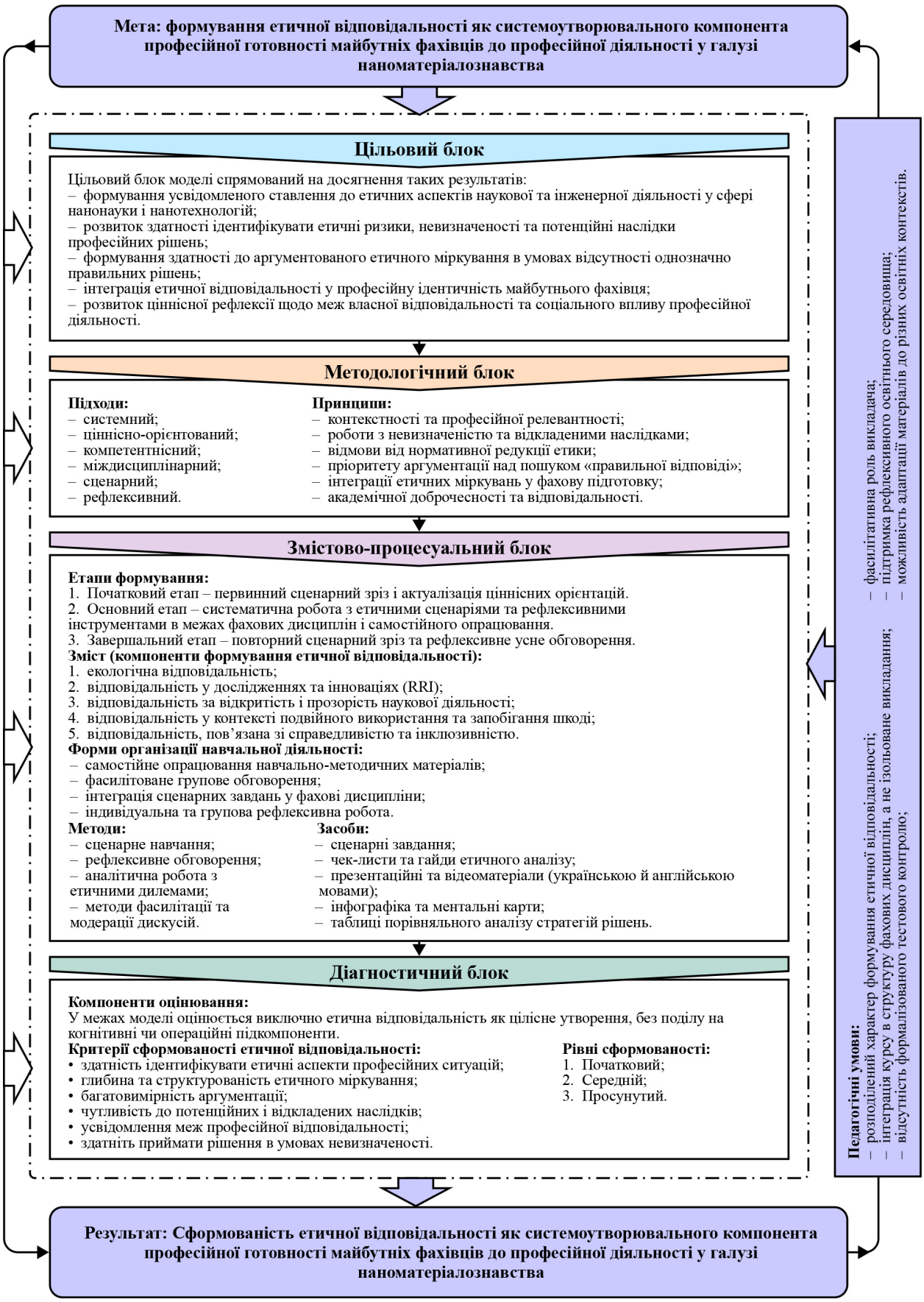


Рис. 2.4 Структурно-функціональна модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства

Зміст цільового блоку структурно-функціональної моделі містить мету, яка полягає у формуванні етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства як системоутворювального чинника їхньої професійної готовності. Відповідно до визначеної мети окреслено завдання, що передбачають:

1. 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;

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

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

4. 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 етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Методологічну основу моделі становлять системний, ціннісно-орієнтований, компетентнісний і міждисциплінарний підходи, які забезпечують цілісне бачення етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності. 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.

Системний підхід забезпечує цілісне бачення процесу формування етичної відповідальності, оскільки дозволяє розглядати її як системоутворювальний чинник професійної готовності майбутнього фахівця. У межах цього 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 етичну відповідальність не лише як сукупність переконань або знань про моральні норми, а 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 етичної відповідальності потребує інтеграції знань з різних галузей і розвитку здатності бачити проблему в її комплексності.

Рефлексивний підхід спрямований на розвиток здатності майбутніх фахівців осмислювати власні судження, мотиви, рішення та їх можливі наслідки. У контексті формування 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 етичної відповідальності, 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 сфері наноматеріалознавства.

Ефективність формування етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства значною мірою залежить від реалізації сукупності педагогічних умов. До таких умов віднесено: створення позитивної ціннісної мотивації щодо усвідомлення етичних аспектів професійної діяльності у сфері нанонауки та нанотехнологій; інтеграцію етичної проблематики у зміст фахової підготовки; спрямованість форм організації освітнього процесу та методів навчання на аналіз складних професійних ситуацій, що характеризуються невизначеністю та відсутністю однозначно

правильних рішень; сприяння систематичній рефлексії власних професійних рішень, позицій і відповідальності за їхні наслідки..

Діагностичний блок структурно-функціональної моделі передбачає оцінювання рівнів сформованості етичної відповідальності 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. Згідно з визначеними критеріями виокремлюються три рівні сформованості етичної відповідальності: початковий, середній та просунутий.

У процесі реалізації моделі виокремлюються основні види діяльності, які забезпечують актуалізацію та розвиток етичної відповідальності 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 етична відповідальність як системоутворювальний чинник професійної готовності 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 розглядаємо 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 концептуально-процесуальні засади формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на основі етичної відповідальності як її системоутворювального чинника.

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 освітньому процесі майбутніх фахівців у галузі матеріалознавства. Курс спрямовано на формування етичної відповідальності як системоутворювального чинника професійної готовності означених фахівців. 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 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.

Показано, 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 етичної відповідальності 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.

У результаті попередньої апробації підтверджено доцільність використання сценарно-орієнтованого інструментарію оцінювання етичної відповідальності, побудованого на професійно релевантних етичних дилемах у сфері нанонауки та нанотехнологій. 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 діагностичним 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 етичної відповідальності. 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: створення позитивної ціннісної мотивації щодо усвідомлення етичних аспектів професійної діяльності; інтеграцію етичної проблематики у зміст фахової підготовки; спрямування форм і методів навчання на аналіз складних професійних ситуацій в умовах невизначеності; сприяння систематичній рефлексії власних професійних рішень, позицій і відповідальності за їхні наслідки. Визначено також діагностичні орієнтири оцінювання рівнів сформованості етичної відповідальності за такими критеріями, як здатність ідентифікувати етичні аспекти професійних ситуацій, глибина й аргументованість аналізу, чутливість до потенційних і відкладених наслідків, усвідомлення меж власної професійної відповідальності та готовність брати відповідальність за прийняті рішення.

Створено концептуальне, дидактичне й методичне підґрунтя для подальшої експериментальної перевірки ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, у межах якої етична відповідальність розглядається як системоутворювальний чинник професійної готовності.

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

У межах експериментального дослідження педагогічний вплив спрямовано на формування етичної відповідальності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства шляхом інтеграції відповідного змісту в освітній процес (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, 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).

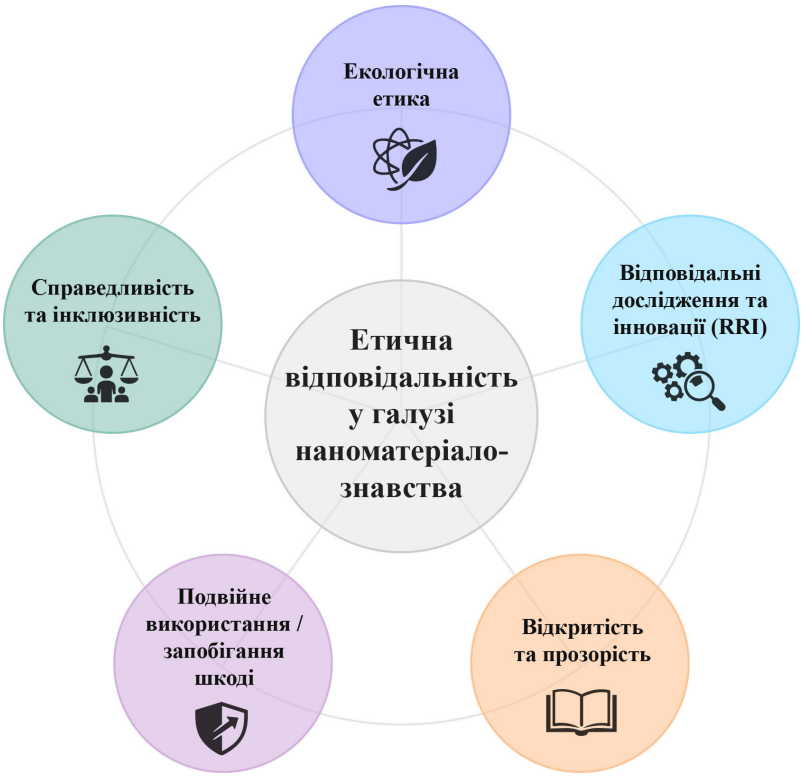


Рис. 3.1 Структура модульної організації педагогічного впливу

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 емпіричному дослідженні взяли участь 280 здобувачів вищої освіти, які проходили навчання впродовж 2024–2026 навчальних років і були залучені до опрацювання інтегрованого навчального модуля, присвяченого питанням

етичної відповідальності у професійній діяльності, пов’язаній із розробленням 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 навчалися за відповідними освітніми програмами та були залучені до опрацювання інтегрованого змістового модуля, спрямованого на формування етичної відповідальності. 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 етичної відповідальності, 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 етичної

відповідальності здобувачів вищої освіти. 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 етичної відповідальності:

1. Етично неприйнятна або мінімально відповідальна позиція. Характерні ознаки: ігнорування ризиків нанорівня; перекладання відповідальності («це не моя справа», «це вирішать інші»); техноoптимізм 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 (усі 280 анкет без пропусків); 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 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 етичної відповідальності (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.

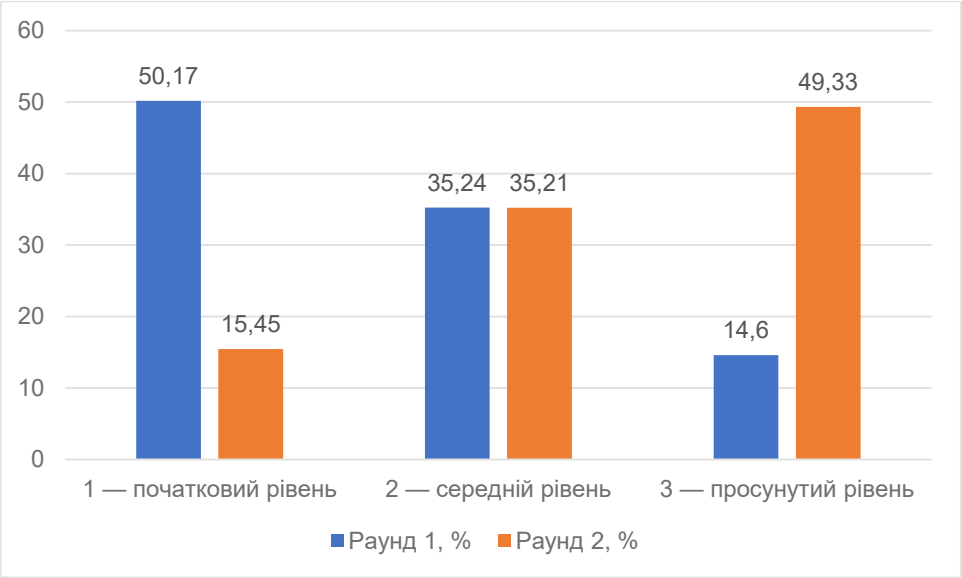


Рис. 3.2 Розподіл відповідей за рівнями етичної відповідальності у двох раундах оцінювання, %

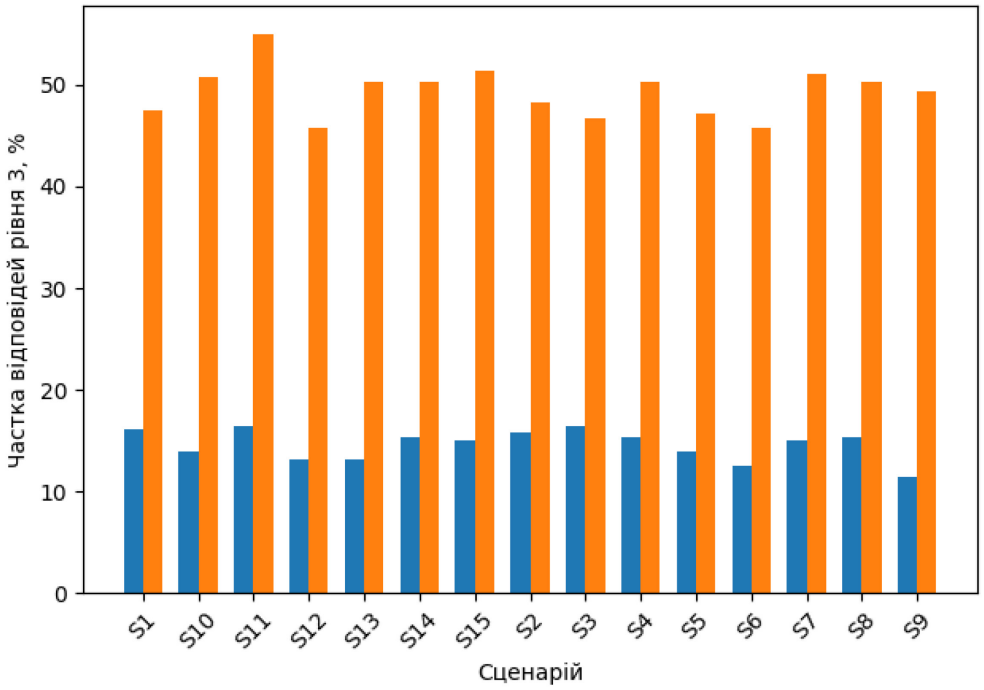


Рис. 3.3 Розподіл відповідей високого рівня етичної відповідальності за сценаріями у двох раундах

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.

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

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

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 етичної відповідальності. 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 табл. 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 табл. 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 (підрозділ 3.4.2) 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 табл. 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.

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

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.

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.

На рис. 3.4 представлено карту розміщення респондентів і сценаріїв (person–item map) у спільній логіт-шкалі. Як видно з рисунка, 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.

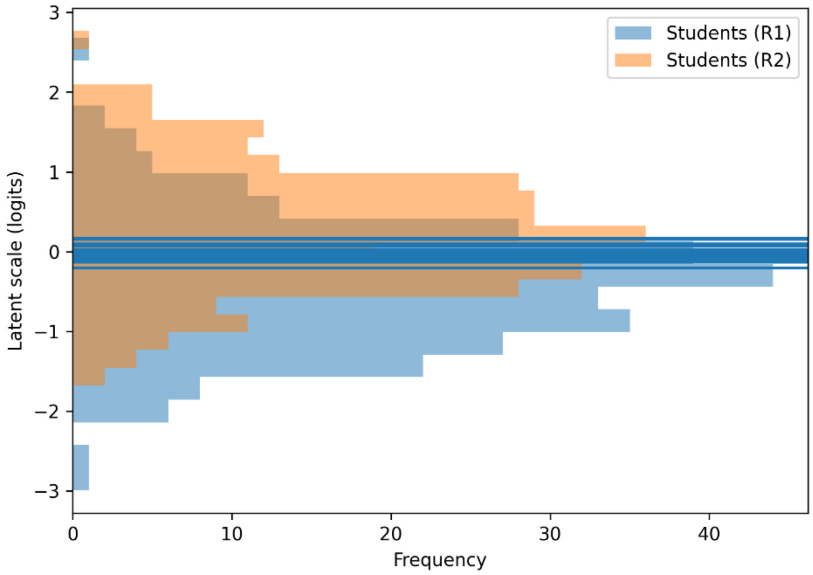


Рис. 3.4 Карта розміщення респондентів і сценаріїв (person–item map) у спільній логіт-шкалі.

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.

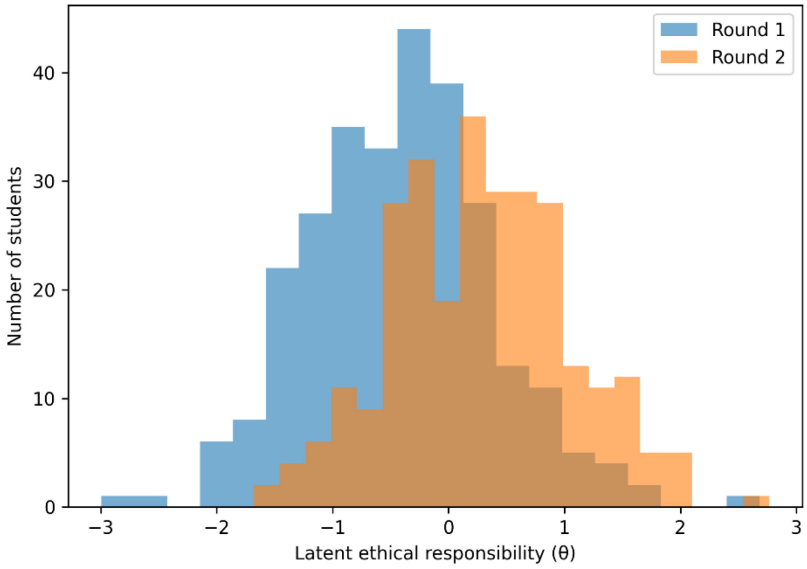


Рис. 3.5 Порівняння розподілів латентного параметра θ у двох раундах оцінювання

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 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**.** 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.

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

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.

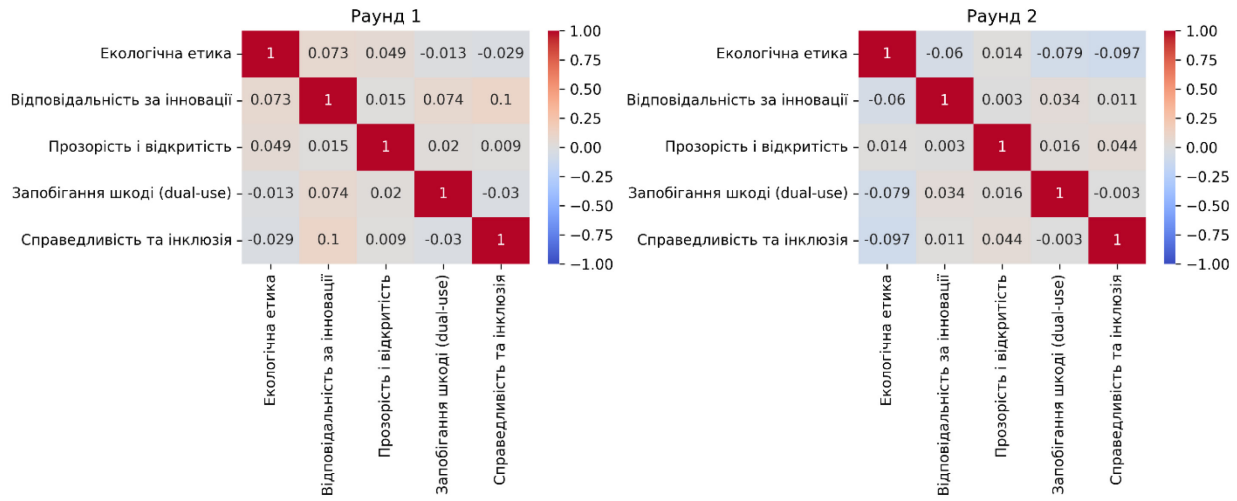


Рис. 3.6 Кореляційні зв’язки між компонентами етичної відповідальності у першому та другому раундах оцінювання

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.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі здійснено експериментальну перевірку ефективності структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, у якій етична відповідальність розглядається як її системоутворювальний чинник. Перевірка проводилася в умовах реального освітнього процесу шляхом інтеграції відповідного змісту в базові навчальні дисципліни та використання відкритого навчально-методичного ресурсу для самостійного опрацювання.

Установлено, що формувальний вплив доцільно реалізовувати не у вигляді окремої нормативної дисципліни, а як модульно організований навчально-методичний комплекс, спрямований на розвиток рефлексивного етичного міркування в умовах невизначеності, конфлікту цінностей і

відсутності однозначно правильних рішень. Зміст педагогічного впливу було структуровано за п’ятьма взаємопов’язаними модулями, що охоплюють екологічну етику, відповідальні дослідження та інновації, відкритість і прозорість, запобігання шкоді в умовах подвійного використання та справедливість та інклюзію.

Формування вибірки здійснювалося за принципом суцільного обстеження, що забезпечило повне охоплення визначеної когорти, відсутність атриції та порівнюваність результатів двох раундів оцінювання на рівні респондентів. 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. Якщо на початковому етапі переважали відповіді, що відповідали початковому або середньому рівню етичної відповідальності, то у другому раунді спостерігалося зростання частки більш етично обґрунтованих рішень і зменшення частки етично мінімальних або недостатньо продуманих відповідей. Водночас 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. Водночас результати слід інтерпретувати з урахуванням меж дослідження: його здійснено в конкретному освітньому контексті та на вибірці здобувачів, які навчалися за освітніми програмами, пов'язаними з нанотехнологіями, матеріалознавством і прикладною фізикою, а сценарне оцінювання фіксує декларовані етичні позиції, а не безпосередню поведінку в реальних професійних ситуаціях.

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 структурно-функціональну модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства, у якій етична відповідальність визначено як системоутворювальний чинник. Результати дослідження дали підстави для таких висновків.

1. Визначено теоретико-методологічні засади формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства та обґрунтовано місце етичної відповідальності в її структурі. Уточнено понятійні межі нанонауки, наноматеріалознавства та нанотехнологій. Доведено, що готовність до професійної діяльності в цій галузі має інтегрований характер, а етична відповідальність виконує в її структурі системоутворювальну функцію.

2. Охарактеризовано критерії сформованості етичної відповідальності та розроблено сценарно-орієнтований інструментарій її оцінювання у структурі готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Встановлено, що оцінювання має бути спрямоване на виявлення здатності ідентифікувати етичні аспекти професійних ситуацій, аналізувати альтернативи, враховувати наслідки рішень, усвідомлювати межі власної відповідальності та виявляти готовність брати її на себе. Психометричний аналіз підтвердив придатність розробленого інструментарію для оцінювання динаміки сформованості етичної відповідальності.

3. Розроблено навчально-методичне забезпечення формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства на засадах етичної відповідальності як системоутворювального чинника. Обґрунтовано доцільність курсу «Етика в нанонауці та нанотехнологіях», побудованого на сценарному підході. Визначено основні змістові виміри етичної відповідальності: екологічна етика,

відповідальні дослідження та інновації, відкритість і прозорість, запобігання шкоді в контексті подвійного використання, справедливість та інклюзія.

4. Теоретично обґрунтовано та розроблено структурно-функціональну модель формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства й визначено педагогічні умови її реалізації. У структурі моделі виокремлено цільовий, методологічний, змістово-процесуальний та діагностично-оцінювальний блоки. Ефективність її реалізації забезпечується формуванням ціннісної мотивації, інтеграцією етичної проблематики у фахову підготовку, орієнтацією навчання на аналіз професійних ситуацій в умовах невизначеності та розвитком систематичної рефлексії.

5. Експериментально перевірено ефективність структурно-функціональної моделі формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства. Результати дослідження засвідчили позитивну динаміку у сформованості етичної відповідальності: в усіх п’яти її компонентах медіанні значення зросли з 5,0 у першому раунді до 7,0 у другому за збереження співставної варіативності відповідей (IQR = 2,0), що свідчить про загальний зсув у бік вищого рівня етичної аргументації. Достовірність і надійність одержаних результатів підтверджено комплексом статистичних і психометричних процедур, зокрема застосуванням описової статистики, аналізу внутрішньої узгодженості, аналізу дискримінативності сценарних завдань та моделей теорії відповіді на завдання. Це дає підстави стверджувати, що розроблена модель виявила ефективність у формуванні етичної відповідальності як системоутворювального чинника готовності до професійної діяльності.

Отже, результати дослідження підтвердили досягнення поставленої мети та засвідчили, що ефективність формування готовності до професійної діяльності майбутніх фахівців у галузі наноматеріалознавства підвищується за умови цілеспрямованої інтеграції етичної відповідальності у зміст, організацію, методи та оцінювання професійної підготовки.

Подальші дослідження вбачаємо в операціоналізації структурних компонентів готовності до професійної діяльності, а також у поглибленні методичного інструментарію її оцінювання. Перспективним є подальша апробація та валідація запропонованої моделі в різних освітніх середовищах і міждисциплінарних контекстах, зокрема у суміжних високотехнологічних галузях, із урахуванням викликів сталого розвитку, етичної відповідальності та впливу цифрових і генеративних технологій на професійну підготовку фахівців.

Перспективним напрямом також є перехід від фіксації лише декларованих етичних позицій до вивчення безпосередньої поведінки випускників у реальних практичних професійних ситуаціях.

Крім того, перспективи наукового пошуку полягають у:

– розширенні розміру та різноманітності вибірки для можливості застосування статистичного тестування і більш надійних узагальнень результатів;

– порівнянні ефективності сценарного підходу з іншими альтернативними педагогічними методами, такими як рольові ігри або аналіз тематичних досліджень (кейс-стаді), на різних групах студентів;

– дослідженні ролі групової динаміки та потенційного впливу однолітків (соціальної упередженості) на формування етичних рішень, зокрема через пошук методів балансування групового впливу та індивідуальної рефлексії із застосуванням незалежного спостереження;

– апробації в різноманітних освітніх і професійних контекстах перспективних ініціатив, таких як спільне етичне навчання з промисловими партнерами, створення центрів безперервного професійного розвитку у сфері етики високих технологій.

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».

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 впроваджених 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 науково 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 наукових проблем 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.

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 ранні дискусії щодо безпечності вуглецевих нанотрубок. У 2008 році в Nature Nanotechnology було продемонстровано, що довгі багатостінні нанотрубки можуть проявляти асбестоподібну патогенність у модельних умовах: біологічна реакція була подізана не з самим фактом «нанорозміру», а з геометрією/морфологією, тобто з параметром, який визначається вже на стадії дизайну й синтезу. Важливо, що різні бути концептуалізований як наслідок раннього технічного вибору (які саме нанооб'єкти проектуються і стабілізуються, довгі, жорсткі, волокноподібні або навпаки коротші, агломеровані чи інші) морфології), тоді як на момент активного інвестування в технологію домінувало припущення, що нанотрубки «не небезпечніші за графіт». Отже, цей випадок демонструє логіку, характерну для нанотехнології: етично значущим є не лише «що ми зробили», а «яких дизайн параметрів ми нормалізували як успішний». Саме такі рішення, що до застосування, визначають, чи буде ризик керованим, чи стане «видимим» занадто пізно, коли технологія вже масштабована.

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:

Показовим є дискусії щодо неорганічних UV-фільтрів (TiO₂, ZnO) у сонцезахисних продуктах: технологія вирішує важливу медичну задачу; однак у літературі описані сценарії потенційного впливу частинок та формувпливів на морські організми (залежно від форми, покриття, умов середовища). Це підкреслює, що етичний вимір з'являється не «після шкоди», а вже при виборі формуючої та пріпущень про середовище використання

Для інноватора 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 визначаються пріоритетними
Дослідницький дизайн	Методи, матеріали, критерії успіху	Які ризики вважаються релевантними
Експеримент	Умови, масштаб, контроль змінних	Які ефекти залишаються «поза кадром»
Інтерпретація результатів	Акцентні у висновках	Які наслідки вважаються другорядними
Передача результатів	Публікація, патентування, комунікація	Хто і як зможе використати результати
Масштабування	Відповідження, комерціалізація	Які ризики посилюються зі зростанням масштабу

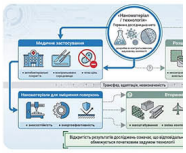


Рис. 2.1 Відкритий потенціал застосування и анотехнології несподіваних сфер використання

Це множинність створює ситуацію, у якій:

- складно чітко визначити «кінцевого користувача»;
- важко прогнозувати соціальні та екологічні контекст
- зростає ризик небажаних або проблемних використ

RRI у цьому випадку не вимагає повного контролю над усі сценаріями, але стимулює **усвідомлення відкритості інов** та відповідальне представлення його можливостей і обме

Розділ 4. Антиципація: як передбач спекуляцій

Антиципація є одним із центральних вимірів концепції відп та інновацій, проте водночас одним із найбільш неправ У науковій та освітній практиці її нерідко оптожнюють із п футуристичними сценаріями, що призводить або до надмір або до повної відмови від будь-яких спроб осмислення мож

У контексті нанотехнологій антиципація не означає передб результатів чи детальних сценаріїв розвитку подій. Йдеться **релевантні запитання щодо можливих напрямів розвитку ве ризику**, не виходячи за межі науково обґрунтованого а

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	Породження конкретних майбутніх подій
Статус знання	Визнання обмеженості та невпевнити	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

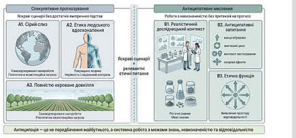


Рис. 2.2 Антиципація і спекулятивна етика в нанотехнологіях

Антиципація у нанотехнологіях тісно пов'язана з тим, що результати досліджень можуть мати **відкритий печищав застосування**, а отже – різні траєкторії розвитку. У такій ситуації відповідальність полягає не у передбаченні всіх можливих варіантів, а у **виділенні визначні ідої відкритості** та обґрунтованому 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.

і невизначеностей. У цьому сенсі відповідальність у RRI є **розподілено**, 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 уповільнену фіксацію рішень на етапах формулювання дослідницьких проблем, вибору методів, інтерпретації результатів та комунікації висновків. Рефлексивна практика передбачає постановку запитань не лише щодо технічної доцільності («чи це працює?»), але й щодо контрольованих 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.

Межі контролю не обмежують відповідальність, але визначають форму рефлексії

Для систематизації кола зацікавлених сторін у нанотехнологічних інноваціях доцільно розглянути їх у широкому 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	Затримка реакції на нові рішення
Працівники виробництв	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 поверхового 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, до розташовані виробничі об'єкти, або екосистеми, які не мають власного представництва, але відграють ключову роль у підтримані 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 незвичайних знань	Визнання різних типів знання

Помилка	Як вона проявляється	Ал
Запізнілe залучення	Обговорення після прийняття рішень	ін

Таким чином, інклюзія в межах відповідальних досліджень питаннях справедливості, а й інструментом підвищення як технологічних рішень. Вона дозволяє розширити горизонт ризиків помилкових припущень і зробити інноваційні проце до невизначеності.

Розділ 7. Відповідальність без повно міф чи реальність?

Одним із найпоширеніших аргументів проти поєднання ети в науково-дослідницьких та інноваційних є твердження про в контролю над наслідками. У сфері нанотехнологій цей арг сили, оскільки результати досліджень можуть використов контекстах, масштабуватися непередбачуваним чином і ви технологіями поза межами початкового задуму.

У межах концепції відповідальних досліджень та інновацій розглядається як хибна дихотомія, яка протиставляє конт Відсутність повного контролю не означає відсутності відпо саме в умовах обмеженого контролю відповідальність набу значущості. Йдеться не про гарантування певного результа вибір дій і готовність коригувати їх у світлі нових обставин.

У традиційних підходах до відповідальності вона часто пов наслідками або їхніми винуватцями. Водночас у сучасних с відповідальність. Проте в складних технологічних система нанотехнологій, наслідки формуються через ланцюги взаєм індивідуальний внесок окремого дослідника або інженера- опосередкованими і розподіленими. Це не скасовує відповід а змінює її характер.

Відповідальність у RRI доцільно розуміти як **процесуальну**, категорію. Вона полягає у здатності:

- визнавати межі власного впливу;
- прозоро комунікувати невизначеності та обмеження
- бути готовим до перегляду рішень;
- реагувати на нові дані та сигнали.

Такий підхід дозволяє уникнути як необґрунтованих общин так і повного зняття відповідальності.

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 проект).
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?
- До 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)

Напрями 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 ця бути використано для шкоди?

Напрям наслідків	На що звернути увагу	Приклад запитання
Соціально-економічні	праця, нерівність доступу, «витіснювані ефекти»	Хто отримає вигоди, а хто частіше ризик?
Інформаційні	прозорість, відповідальність, маніпуляції, асиметрія знань	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 впровадити/випустити»	Чи достатньо даних про вплив на масштаб?
Користь ⇄ Ризики	«користь переважає»	Які ризики не перекривані або «виведені за дужки»?
Інноваційність ⇄ Повторюваність	«це прорив»	Чи можна прозоро описати межі застосування?
Комерціалізація ⇄ Відкритість	«ІП вожливіший»	Чи не приховано критичні дані/обмеження?
Масштабування ⇄ Контроль	«вийдемо на ринок – потім доробимо»	Як зменшується ризик при простому виробництві?

Блок 4. Типові аргументи, що маскують відсутність відповідальності

Мета: виявити риторику, яка створює видимість відповідальності без змін практик.

«Маскувальні» аргументи та як їх перевірити

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 безпеки	Які дані відсутні і чому?
«Так робить усі»	нормалізація не є виправданням	Які є альтернативи і чому їх відхилили?

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 проекту).

Він **не є інструментом контролю або оцінювання**, а слугує засобом виявлення зон відповідальності, невизначеності та потенційних «слпих зон».

Інструкція з використання

Для кожного твердження:

- поставте ✔ якщо аспект враховано;
- поставте ? якщо інформації бракує або є сумнівн;
- ☐ 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 замислився/лась над тим, хто не має голосу в уявленні 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 «аномалії»	☐
Є готовність переглядати рішення за появи нових даних	☐

3. Розподіл відповідальності між учасниками

Питання для самоперевірки
Я розумію власну роль у ланцюгу рішень
Відповідальність не перекладається повністю на регуляторів
Я усвідомлюю обмеження власного контролю
Відсутність контролю не використовується як виправдання

4. Етичні «сліпі зони» та невизначеність

Питання для самоперевірки
Я чітко позначив(ла), де бракує даних
Я не оптимізував «відсутність доказів шкоди» з безпечністю
Потенційні відкладені або непрямі ефекти враховано
Я визнаю, що деякі наслідки можуть проявитися пізніше

5. Аргументація та відповідальна комунікація

Питання для самоперевірки
Аргументи не спираються лише на відповідність стандартам
Обмеження та припущення сформульовані відкрито
Я уникаю риторики «нашого вибору немає»
Пояснення не маскує складність рішення

Як інтерпретувати результат

- **Багато ✔** — рішення осмислюється в логіці відповід
- **Багато ?** — це простір для розвитку, а не ознака по
- **Порожні блоки** — сигнал, що відповідальність розгля

Пам'ятай! Відповідальна інновація – це не відсутність ризи **ставлення до них**.

Аналітичні приклади інноваційних траєкторій (RRI)

1) Відповідальні корекції на пізніх етапах

Кейс 1. Приклади «пізніх» корекцій (responsiveness)

Інноваційна траєкторія	Що пішло не так (точка натиску)	Яка корекція була зроблена	Що це показує з позицій RRI
Впровадження нової «нанодобавки/ наноконцепти з високою ефективністю»	Виявлені негативні або відкладені ефекти (експозиція, міграція, «накопичення»)	Зміна формулації, перехід до імкапсуляції; обмеження сценаріїв застосування	Відповідальність як здатність до корекції, а не як «нуль ризику»
Масштабування процесу синтезу наноматеріалу	Ризики зміщаються при переході з лабораторії на виробництво	Перегляд НЗС: протоколів, експозиції; адаптація технологічних параметрів	Контроль і відповідальність – динамічні; масштабування змінює профіль ризику
Комунікація «продукових» технологій	Надмірні обіцянки, неузгодженість з реальними даними	Переформулювання заяв, публічне уточнення обмежень, зміна комунікаційної стратегії	Прозорість невизначеності підтримує довіру краще, ніж «ідеалізм»
Використання наноматеріалу в продукті з широким колом користувачів	Несподівані сценарії використання/ зловживання	Перепроектування функцій безпеки, маркування, обмеження доступу	Антиципація не гарантує прогнозу, але підвищує 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, затит 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 – оптимізма умова якості, а не «соціальна прикраса»

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, завищування у нав'язування, 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	Пройдено формальні процедури та мінімальні вимоги	З'явилися ризики поза межами регуляції (накладені/кумулятивні ефекти)	Стандарти задають мінімум; RRI працює з тим, що «поза нормативами»
Виконані вимоги без прозорої комунікації	Є формальні документи і звіти	Недовіра через непрозорість пропущень 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

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, відкритту 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 прийнятих. Формальна відповідність стандартам не гарантує, що інновація є відповідальною в широкому 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. Невиконність 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.

Сценарна задача

Назва сценарної задачі:

«Інновація без паузи: рішення, ухвалене до поя

Контекст сценарію

Дослідницька група університетської лабораторії працює н наноматеріалу для покриття внутрішніх поверхонь трубопр водопостачання. Матеріал має наноструктуровану поверхн утворення бактеріальної плівки.

Лабораторні результати є переконливими:

- підвищення строку експлуатації труб;
- зменшення потреби у хімічній очистці;
- потенційне скорочення експлуатаційних витрат і спо

Проект швидко привертає увагу муніципального партнера, рішення для модернізації застарілої інфраструктури. Пропо впровадження у мізькій системі водопостачання.

Ситуація, що ускладнює рішення

На етапі підготовки до масштабування виявляється низка

- поведінка наночастинок після багаторічної експлуат водопостачання не вивчена;
- можливе мікросоніче вивільнення наночрагментів алю ей не виключене;
- токсикологічні тести проводилися лише для коротко сценаріїв;
- кінцевими користувачами технології є не лише опер міське населення, яке не залучене до процесу ухвал

Формально проект **відповідає чинним нормативам**, а відкл означає втрату фінансування та політичної підтримки.

Ключове етичне напруження

? *Чи є відповідальним рішенням впроваджувати технологію, в очікуванні, але наслідки масштабування невідомого відм особливо з огляду на неможливість індивідуальної згоди кінцевих користувачів?*

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 методів, 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 формуванню 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 науковых 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 стає ресурсом 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 можуть перешкоджати 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 підсилює вимоги до прозорості аргументації та пояснення меж знання.

Кейс:

Показовим кейсом, який демонструє, чому відкритість у нанодослідженнях стала етичним питанням, є поява ініціативи MIRIBEL (Minimum Information Reporting in Bio–Nano Experimental Literature). Її запропонували у відповідь на систему проблем в нанонауці та суміжних напрямах, 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 (ідентифікована дрейка матеріалів, з описом дисперсності, поверхневих властивостей тощо), а експериментальні умови не подано так, щоб їх міг відтворити інший дослідник, то згодом ставиться не лише технічна якість статті, а й етична легітимність як елементу доказової бази для рішень із потенційними 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 видимість прозорості, не забезпечуючи 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 складною, оскільки фіксація критичних виборів рішень — наприклад, вибір моделей, параметрів або інтерпретацій — залишається «невидимими» в стандартних публікаціях, але суттєво впливають 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, метадані
Рівень складності	Переважно технічний	Епістемічний та комунікаційний
Основний ризик	Імітація прозорості	Надмірна складність пояснень
Значення для RRI	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. Відкриті 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 особливих викликів, оскільки експериментальні результа великої кількості параметрів, а відсутність доступу до пер критичну перевірку та повторюваність.

Водночас відкритість даних у нанотехнологіях має є етичн практиків. Дані в цій сфері є контекстозалежними, часто з 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, неправильними рішеннями і, зрештою, етичними проблемами.

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 неясним	Етичне значення
Дані	Результати вимірювань	Критерії відбору даних	Залобігання вибірковості
Методи	Опис методик	Причини вибору саме цих методів	Оцінка обґрунтованості
Параметри	Основні налаштування	Чутливість до змін параметрів	Розуміння варіабельності
Інтерпретація	Кінцеві висновки	Альтернативні тлумачення	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 досліджень	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	Переключення 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 стін-ліф команда отримує перспективні результати з вирішення прикладних потенціалів — 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 обмеженим доступом 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 неспівпадіння матеріалу або чутливість властивостей до умов синтезу. У результаті в публічному науковому просторі з'являється

відтворюваність і повторне використання. Це «чистий» прик керованої прозорості перетворюється на «склад даних», яки де фактично переходає всю відповідальність за розуміння

Кейс:

*У міждисциплінарному європейському нанопроекті **ASINA** (Ф практичний підхід до того, як «відкривати» дані, в тому числі створять д мостей — і як це виправляють через DMP та FAIRification-про автори називають **Data Shepherding** (супровід даних по життя літературний приклад того, що прозорість не вимикає «само- його 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 ети 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 опи оцінювання наноозлобу дами демонструє, що відкритість б а кейс data shepherding у ASINA показує, що етична відкрит із ролями, стандартами і готовністю до корекції. У підсумк нанотехнології є етичною не тоді, коли «все викладено, а тоді, коли хибної інтерпретації та підвищено підзвітність зами

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-publications-tools-and-data/pul 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?	Залобігання вибірковості
Негативні результати	Чи враховано несподівані спроби, відхилені гіпотези або аномальні значення?	Чесність і доброчесність
Варіативність даних	Чи показано розкид, нестабільність або залежність результатів 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?	Залобігання хибному переносженню
Дані поза контекстом	Чи можуть дані були використані без пояснень у небажаних або ризикованих сценаріях?	Превенція шкоди
Комунікація ризиків	Чи зґрадно 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 відкритя 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 звелася до формального розкриття результатів.

Прозорість у науковій та інноваційній діяльності означає не лише відкритий доступ до результатів, а **пояснення умов, меж і невизначеності,** у межах яких ці результати мають сенс.

Орієнтири для швидкої перевірки

- Чи зрозуміло з поданого матеріалу, за яких умов отримано результати?
- Чи окреслено межі застосовності 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 її 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 повсякденні рішення дослідника.

Наведений нижче документів і практик є прикладом міжрівневої моделі для нормативний стандарт. Його мета — **продемонструвати, яким чином етична логіка відкритості та відповідальності може бути інституційно оформлена:** від стратегічних документів до конкретних механізмів доступу до даних, оцінки ризиків і самоперевірої дослідника. 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*
- *Протокол-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. Мої 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 знайти й 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 продукту;
- 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 застосовності 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 відомості 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 нанокомпозитної антибактерії зазначено, що 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 пояснення — 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 розумінн навчається інтерпретувати людські емоції, поведінку і соц водночас не дозволяє їй 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 соціальн дитини (Джозі). Рішення про використання технології ухва батьками, інженерами, лікарями, — для неї цілому межі вис та альтернатив залишаються частково непрозорими. «прийнятної необхідності». Навіть коли технологія безпосе майбутніх дитини, відсутня повна симетрія інформації: ні до володіють цілісним уявленням про те, що саме відбувається

Роман показує ситуацію, у якій формальна згода на застос не дорівнює інформованій згоді. Прозорість замінюється з ускладнює відповідальний вибір. Коли компенсується ритуалом турботи та прогресу. Особливо к як система, здатна до спостереження і моральної інтуїції, в уважною до вразливості дитини, яке інструкції, які ухвалю

Цей літературний сценарій дозволяє розглянути прозорість даних, а як **доступ до смислу** рішень. У контексті нанотехн виникає тоді, коли складні технічні дані «викладені» в вразливих групам (дітям, пацієнтам, залежним користува розумінню дослідницьких наслідків, а етична проблема ма 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, медиатор чи користувач?
- Чи є турбота достатнім мірилом виправданими д
- Як відрізнити соціальну нормалізацію технології від і

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 автономної роботи нано-рої матеріальні або сенсорні системи.

Особливість 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 «дослідженнями» і «використанням». У багатьох випадках шкода може бути наслідком формально правильних, але контекстно хибних 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 наміру, а й з огляду на можливі наслідки, масштаби та контексти застосування нанотехнологічних рішень.

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 науковомістких 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 спричинити 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, потенційна шкода не обов'язково пов'язана 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 Ga₂O₃-детекторотехнологію релевантним для задач раннього виявлення та супроводу пусків ракет. У цьому прикладі «подвійність» виглядає 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 наукований або нейтральний результат, з часом може набути прикладного значення з історичними 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.

Кейс:

Багато наночастинок створюють користь саме завдяки властивостям, які водночас є джерелом ризику: висока реактивна здатність, мала розмірність, взаємодія з біомембранами. Тому «подвійність» може проявитися як перехід від терапевтичного/діагностичного застосування до небажаних ефектів у довколі 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 у сучасній науковій і інженерній практиці.

CASE 1: НАНОПОРИСТІ МАТЕРІАЛИ

ЦІЛЬОВИЙ КОНТЕКСТ

Первинний контекст застосування

Зберігання енергії, каталіз, легкі конструкції

СПЛАВ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Ключові функціональні властивості

Велика поверхня, реакційна здатність

АЛЬТЕРНАТИВНИЙ / ВІЙСЬКОВИЙ КОНТЕКСТ

Інший контекст застосування

Вибухові та піротехнічні системи

CASE 2: НАНОЧАСТИНКИ СРІБЛА

ЦІЛЬОВИЙ КОНТЕКСТ

Первинний контекст застосування

Антимікробні покриття, медицина, очищення води

СПЛАВ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Ключові функціональні властивості

Токсичність, антимікробна активність, стабільність

АЛЬТЕРНАТИВНИЙ / ВІЙСЬКОВИЙ КОНТЕКСТ

Інший контекст застосування

Задача з протилежною дією: біозахист замість дезінфекції

CASE 3: Ga₂O₃, SOLAR-BLIND UV-ДЕТЕКТОРИ

ЦІЛЬОВИЙ КОНТЕКСТ

Первинний контекст застосування

Моніторинг полум'я, промисловий контроль

СПЛАВ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Ключові функціональні властивості

Чутливість у solar-blind діапазоні, термостійкість

АЛЬТЕРНАТИВНИЙ / ВІЙСЬКОВИЙ КОНТЕКСТ

Інший контекст застосування

Раннє виявлення та супровід ракетних пусків

Подібність за окремою властивістю і новий контекст застосування

Подібність за технічною ознакою при різному функціональному призначенні

Подібність за частковою ознакою при різній дуальності

Рис. 4.1 Подвійне використання як структурна властивість нанотехнологій

Розділ 2. Типи потенційної шкоди: що саме означає «запобігання»

У дискурсах 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 н
ж більшість етично проблемних наслідків інноваційні вника
накладом, 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 накопичувал
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 обмеженням їх масштабу. Такий п
регуляторної логіки «дозволено - заборонено» і вимагає ет
прийнятного рівня ризику.

Для аналітичної чіткості доцільно розрізняти кілька типів п
які можуть бути релевантними для нанотехнологічних рішен

Таблиця 4.1 Типи потенційної шкоди в контексті нанотехнс

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 і воді
Соціальна	Посилення нерівностей або виключення	Нерівний доступ до технологій
Інституційна	Підрив довіри до науки або регуляцій	Скандали, втрата легітимності
Безпекова	Можливість небажаного вторинного використання	Використання поза первинним призначенн
Епістемічна	Спотворення знання або його інтерпретації	Хибні узагальнення, повердомляйства

Представлена типологія дозволяє побачити, що шкода не с
або безпековими наслідками. Наприклад, **епістемічна шко**
некоректно інтерпретовані результати — може опосеред
до неправильних рішень у політиці, медицині або промисл
інституційна шкода, пов'язана з втратою довіри, часто є на
або непомічених рішень, навіть якщо формальних технологі
вимогам безпеки.

З етичної точки зору важливо також розрізняти **пряму шко**
бездіяльність або ігнорування. Відмова від аналізу потенці

продуктів, схильні з умовами роботи з матеріалом на етапах синтезу та обробки. Потенційна шкода в цьому випадку стосується передусім працівників лабораторій і виробництва, 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 невідворотними.

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 така зона «сіра зона» між дозволеними і відповідальними. Саме в цій зоні виникають ситуації, коли технологія формально відповідає вимогам безпеки, але її подальше використання може призводити до небажаних соціальних,

Ситуація	Формальний статус	Етичний виклик
Міждисциплінарний перехід	Регуляція фрагментарна	Втрата контексту

Отже, регуляторна безпека є **необхідним, але недостатнім елементом запобігання шкоді**. Формування етичної відповідальності вимагає здатності бачити межі нормативних підходів, працювати з «сірою зоною» і визнавати, що відповідальність за наслідки інновацій не зникається 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 крайності: 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 розрізняється як 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 опирує фантастичними загрозами без емпіричного підґрунтя.

У контексті нанотехнологій особливо важливо розмежовувати **обґрунтовані ризики**, які вимагають 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». Реакція в реальних інноваційних процесах зазвичай розташовують на **континуумі**, де існують зони високої впевненості, зони часткової впевненості та зони суттєвої невизначеності. Саме в останніх етична рефлексія є найбільш необхідною, навіть якщо регуляторні механізми ще не сформовані.

Для систематизації підходів до ризиків 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

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 займається»	Делегування контролю	Втрата проактивності
«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 перемщень 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, умови, 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

*деелгувалася іншим учасникам. Простір для проміжних, про
наприклад, диференційованої публікації або пояснення мех
довгий час залишався заблокованим саме через ці когнітив

Кейс:

*Розвиток технологій gene drive на основі CRISPR примусив з
потенційну контролю перехоплень вірусної інформації. Водночас із самого початку було зрозуміло, що ці технології
невирогні наслідки, зокрема через можливість поширення
і національних кордонів. У реальних науковим і політичним д
спеціальну пастку мислення. Аргумент «технологічний розв
часто використовувався для зняття питання відповідальнос
користь абстрактної логіки прогресу. Якщо технології вся од
застереження подаються як затримка або як страхи регулят
постфактум. Додатково невизначеність щодо екологічних на
не як підстава для обережності, а як аргумент проти будь-як
обмежень. Цей кейс демонструє, що одна з найстійкіших пас
заперечення самого факту вибору. Коли розвиток технології
і позанаціональний процес, відповідальність розмивається
в етичній рефлексії зводиться до формальних дозволів або з
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»	Зняття 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

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 вимкненою властивістю окремих технологій. У сучасних науковомістких 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 системи 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?

Чек-лист для самоперевірки

Призначення

Індивідуальний інструмент рефлексії перед публікацією, презентацією або впровадженням результатів дослідження на інноваційного рішення. Чек-лист допомагає усвідомити потенційні ризики подвійного використання та межі власної відповідальності.

1. Можливість використання результатів поза первинною метою

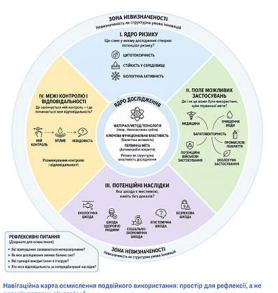
- Чи можуть результати мого дослідження бути застосовані в інших контекстах, ніж ті, для яких вони створювалися?
- Чи існують сценарії, у яких ці властивості можуть бути використані без мого наміру або відома?
- Чи може користь для одної сфери означати ризики або шкоду для іншої?
- Чи усвідомлюю я, які саме властивості технології роблять таки альтернативні сценарії можливими?

2. Рівень деталізації технічної інформації

- Чи є рівень технічної деталізації пропонійним мету 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?



Навігаційна карта осмислення подвійного використання: простір для рефлексії, а не перелік готових відповідей

Сценарна задача

«Формально безпечно, але контекст змінюється»

Контекст сценарію

Дослідницька група працює над створенням наноструктур
зменшує зношування та корозію металевих поверхонь. Пр
– 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
пристосовані для застосування у військовій техніці та спец
Дії підвищують знос матеріалу може мати безпекові наслідк

Це застосування:

- не заборонене чинним законодавством;
- формально не суперечить умовам публікації;
- не було прямою метою дослідження.

Дослідники дізнаються про новий напрям використання н

Проблемна ситуація

У команді виникає дискусія:

- частина дослідників вважає, що відповідальність зак
публікації, адже всі вимоги безпеки дотримані;
- інші зазначають, що ігнорування можливих наслідків
використання є етично проблемним, навіть якщо пр

- 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 сприйнятному 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 інострує, 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 зовні — вона виплива 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

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 проектах.

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 нанокомпозитів 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 навіть 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 перевірки є очевидними. Однак дослідники визнають, що довгостроковості 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?

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?
- Чи 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, обмежившись технічними 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 подібний ефект прогресу»

У команді лунає аргумент, що будь-яка технологія потенційно може мати подвійне використання, а отже, немає сенсу акцентувати на цьому увагу — інакше розробити нічого 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 Воннегута центральним науковим об'єктом
форма льоду, створена вченим Бенілсом Гоннікером як м
рішення прикладної проблеми (швидке заморожування по
не ставить собі мети зробити кінцевої або руйнівної ме
наслідки відкриття і не бере участі в подальшому використ
Для нього «лід-дев'ять» — лише інтелектуальна іграшка, що
«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 соц
до потенційних наслідків.

У цьому сценарії dual-use проявляється у своїй найрадикал
створене без злого умислу і без прикладної мети, виявляєт
із виникнення. Роман показує, що шкода може не ма
застосуванням» технології, а **прямим наслідком її існуван**
механізмів відповідальної оцінки ризиків. Воннегут навмис
проблема не в «поганих людях», а в культурі науки, яка ава
закінчується на моменті відкриття.

Для етики технологій цей кейс є принципово, оскільки він
нову подію на «фундаментальні» й «прикладні» дослідни
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, як
принципово несуть екзистенційний ризик?
- Хто несе відповідальність за end-of-life технології, як
в їх застосуванні?
- Чи існують межі допустимого знання — і хто має пра
- Як відрізнити відповідальну науковку свободу від стр
безвідповідальності?

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.

Метою цього модуля є формування здатності аналізувати нанотехнологічні інновації з позиції соціальної справедливості та інклюзії, розглядаючи не лише їхню ефективність, а й вплив на гідність, автономію 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 їхніх наслідків**. Такий складний підхід є особливо важливим для галузей, де результати досліджень швидко виходять за межі лабораторії і вбудовуються в ширші 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, «меш смердючі», зручні для спорту й повсякденного використання. На рівні індивідуального користувача це справді виглядає як чиста вигода: жодних додаткових дій не потрібно, ефект нібито «відбувається» у фоні. Однак у науковій літературі детально описано інший бік

цього рішення: під час прання частина срібла (включно з наночформами або їонними 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, агрономістами, локальні громади побічну 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 маркетингову «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. Саме тут стає видимою 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 наносріблом

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 досліджика, 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 відосвічних 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», ані 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, хто може нести побічні ризики, які дані потрібні 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, кого не враховано**, які перспектив 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-інженерні «замовники» багати	Локальні потерпілі, маргіналізовані проблеми	Пріоритети ринку, вирішення тем	Ри
Дизайн дослідження	«Середній» користувач умовах	Уразливі групи, рідкі контексти застосування	Припущення про «нормального»	Ко
Вибір метрик успіху	Ефективність, продуктивність, новизна	Безпека, довгостроковості	Перевага «кількісного»	Ст

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 виключення 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 дослідження 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	Несправедливе узагальнення	Явні обмеження обмежень
«Нейтральна технологія»	Концепція проекту	Відокремлення науки від соціуму	Групи, що зазнають впливу	Зняття відповідальності	Визнання соціальних ефектів
«Результати все відкрито»	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 дослідниці 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.

Справедливість у науці виникає не з повного контролю, а з рефлексивних рішень у власній зоні впливу.

Рис. 5.3 Де саме виникає етичні 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 майбутніх вигод і ризиків. Навіть у межах заданих грантових або інституційних рамок дослідник може усвідомлювати, чи орієнтоване його дослідження на вузьке коло добре представлених користувачів, чи потенційно враховує ширші соціальні контексти.

По-друге, суттєвим вимірюм відповідальності є дизайн дослідження і критерії успіху. Орієнтація виключно на технічну ефективність, стабільність або новизну може призводити до поглиблення питань доступності, довгострокових наслідків або умов реального застосування технологій. Дослідниця з 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 неспрадедливому використанню результатів.

Важливо також підкреслити, що етична відповідальність у вимірі справедливості включає визнання меж власного контролю. Дослідниця 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 наслід 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 наслід 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 виконують захисну функцію, дозволяючи зменшити етичну складних, багатовимірних рішень і структурних обмежень.

Однією з найпоширеніших пасток є оптимізація справедл рівність. 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 проєктах або консультаціях сприймається коректності, навіть якщо їхній досвід не впливає на ключов символічний підхід дозволяє зберігати існуючі траєкторії і ключові внутрішні 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 відповідає ро відокремленості наукових рішень від соціального контекст

Кейс:

Показаним прикладом пасток мислення щодо справедливос нанотехнологічних рішень у сфері очищення води в регіонах інфраструктурою. У ряді проєктів 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 виключення та обмеження інклюзивності без зовнішнього оцінювання з боку викладача.

1. Представленість перспектив і досвідів

- Які групи або зацікавлені сторони явно враховані в проєкті?
- Чи є групи, на які результати можуть вплинути, але які не були враховані на етапі проєктування?
- 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 бунтується не на задекларованих цілях проєкту, 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, ризикують до втрати довіри, суспільного спротиву та регуляторних обмежень. У цьому сенсі справедливість є «ринком» 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: вплив на здатність до корекції
Справедливе рішення не завжде є остаточним. Воно вість визначається також готовністю до перегляду, корекції та врахування 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

Приклад (сфера)	Що обіцяла технологія	Який соціальний контекст проігнорували	Як проявилась втрата довіри	Етична напруга (без «правильного» відповіді)	Що можна було зробити інакше (не варіант)
Наноконтейнери (пластинки) з оточуючим товаром (маркування)	Інноваційність, краща ефективність (вони бактеріальність довговічність)	Очікування прозорості, потреба в інформованому виборі	Підозри щодо «прихованої» наночастинець; медіа-скандали	Мова яка комерційні інтереси та технічні і правові на знання	Мінімальна технічна «достатньої» обмеження; коректне маркування
Наноматеріали у «контакті з їжею» (косметика, медичні вироби)	«Покращення ефективність, нові механізми доставки	Висока чутливість до різних аспектів безпеки	Недовіра до виробників, дослідників через брак повноти	Баланс між доступністю продукту і обмеж доказів	Комунікація невизначеності; пост-маркетингові моніторинг
Наноматеріали у дієтах (антибактеріальні добавки, пестициди)	«Чіпкіші, «безпеч»	Тривога щодо кумулятивних екологічних ефектів	Спротив громад; МТЗ, вимоги обмежень	Конфлікт між інтересами корисності і довгостроковими ефектами	Поясснення ризику, аналітичні оцінкиі, діалог зі стейкхолдерами

Конфлікти через обмежений доступ або нерівний розподіл ризиків

Приклад (сфера)	Хто отримував основну користь	Хто міг основні загальні/невидимі ризики	У чому виник конфлікт	Етична дилема	М'які опції корекції (без «заборон»)
Високотехнологічні нанокомпозитні рішення (доступність)	Пацієнти/системи охорони здоров'я з високими ресурсами	Групи з низьким доступом (регіони, країни, бідніші пацієнти)	Нерівність доступу до «кращого лікування»	Чи є справедливою інновація, якщо вона поглиблює розрив?	Моделі диференційно-вання доступу, прозорість ціноутворення, перехресне субсидування програми
Наноінфраструктура та умови праці	Компанії, інноваційні кластери	Працівники виробництв, лабораторій, підрядники	Суперечки щодо стандартів безпеки, комплаєнсу, контролю	Хто відповідає за невидимі ризики на робочому місці?	Розширений моніторинг, 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 «якове рішення**. Вони впливають на дизайн, стійкість і легітимність на їхню життєдатність.

2. Якщо я дотримуюся всіх стандартів і ч 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. Ніхто не покладає на дослідника повної відповідальнос впровадження. Йдеться про **усвідомлений власної зони** дизайн дослідження, комунікацію результатів і визнання о

4. Чи не знижує фокус на справедливост 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 проєктів;
- прикладів із базових дисциплін;
- реальних або змодельованих нанотехнологічних рішень.

Метою є виявлення соціальних впливів, асиметрій і зон невизначеності без зовнішнього оцінювання.

Інструкція до використання

Обрати конкретне технологічне рішення або дослідницький проєкт. Послідовно опрацювати 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 цінності установки.

Блок 5. Межі відповідальності і можливості корекції

- Яку частину впливів я можу реально контролювати як дослідник або розробник?
- Де проходить межа моєї відповідальності?
- Як можуть корекції рішення на пізніших етапах (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 розумітн соціальний вимір технологічних рішень.

Сценарна задача

Головна сценарна задача модуля 5

Назва сценарної задачі
«Ефективне рішення для не всіх»

Контекст сценарію

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 насправді є «типовими»?
- Які групи або контексти автоматично виключаються
- Чи є універсальність нейтральним припущенням?

Сценарна задача 2

У проєкті з нанотехнологій успіх визначається через маси і зниження витрат. Інші критерії не включаються, оскільки кількісного вимірювання. Проєкт визнається успішним і го

Подумай сам

- Які наслідки залишаються «поза метриками»?
- Хто витрає 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 інфраструктурн 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 ЕТИЧНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ

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