

## РОЗДІЛ 2. ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИКА НАВЧАННЯ (З ГАЛУЗЕЙ ЗНАНЬ)

### МЕТОД ПРОДУКТИВНОГО НАВЧАННЯ МАЙБУТНІХ НАНОТЕХНОЛОГІВ СИНТЕЗУ НАНОМАТЕРІАЛІВ

### METHOD OF PRODUCTIVE TRAINING OF FUTURE NANOTECHNOLOGISTS OF NANOMATERIAL SYNTHESIS

Стаття присвячена одній з актуальних проблем підвищення якості підготовки майбутніх фахівців у галузі нанотехнологій до продуктивної професійної діяльності. Створено узагальнену ознакову модель репрезентації поняття базового матеріалу та нового наноматеріалу, що дало змогу описати узагальнений алгоритм професійної діяльності нанотехнолога з перетворення базового матеріалу на новий наноматеріал. Теоретично обґрунтовано та розроблено метод навчання майбутніх нанотехнологів виконувати продуктивну професійну діяльність із синтезу нових наноматеріалів із заданими властивостями. Розроблений метод продуктивного навчання відповідає алгоритму професійної діяльності нанотехнолога із синтезу нових наноматеріалів, є комбінованим і передбачає застосування методу евристичних питань, ретроспективного аналізу подібних наноматеріалів та методу аналізу ієрархій для вибору оптимальної технології синтезу з найпопулярніших (хімічного травлення, фотоелектрохімічного травлення, імпринтингу літографії) нового наноматеріалу із заданими властивостями. Основними етапами методу продуктивного навчання є мотиваційно-цільовий, підготовчо-змістовний, операційно-діяльнісний, контроль-корекційний та оцінно-результативний. Показано, що застосування методу аналізу ієрархій Т. Сааті для продуктивного навчання майбутніх нанотехнологів дає змогу сформувати в них здатність орієнтуватися в особливостях та специфіці сучасних наноматеріалів; обрати оптимальне управлінське рішення щодо методу синтезу наноструктур, що дасть можливість оптимізувати процеси, надає економічну перевагу та зменшує кількість помилок; проводити аналіз діяльності та прогнозувати результати дій. Отримані результати будуть нами використані для розроблення дидактичних засобів навчання майбутніх нанотехнологів синтезу наноматеріалів із заданими властивостями.

**Ключові слова:** метод навчання, нанотехнології, синтез наноструктур, метод аналізу ієрархій, нанотехнолог.

The article is devoted to one of the urgent problems of improving the quality of training of future specialists in the field of nanotechnology for productive professional activity. A generalized feature model of representation of the concept of base material and new nanomaterial was created, which allowed to describe the generalized algorithm of nanotechnologist's professional activity on transformation of base material into new nanomaterial. The method of training future nanotechnologists to perform productive professional activity on synthesis of new nanomaterials with given properties is theoretically substantiated and developed. The developed method of productive learning corresponds to the algorithm of professional activity of a nanotechnologist in the synthesis of new nanomaterials, is combined, and involves the use of heuristic questions, retrospective analysis of similar nanomaterials and the method of hierarchy analysis to select the optimal synthesis technology from the most popular nanomaterial with specified properties. The main stages of the method of productive learning are motivational-targeted, preparatory-substantive, operational-activity, control-corrective and evaluation-effective. It is shown that the application of the T. Saati's method of analysis of hierarchies for productive training of future nanotechnologists allows to form in them the ability to navigate in the features and specifics of modern nanomaterials; choose the optimal management decision on the method of synthesis of nanostructures, which will optimize processes, provide economic advantage and reduce the number of errors; to analyze the activities and forecast the results of actions. The obtained results will be used by us for development of didactic means of training of future nanotechnologists of synthesis of nanomaterials with the given properties.

**Key words:** teaching method, nanotechnologies, synthesis of nanostructures, method of hierarchy analysis, nanotechnology.

УДК 378.147: 372.853  
DOI <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2021/40.11>

**Бардус І.О.,**  
докт. пед. наук,  
професор кафедри  
комп'ютерних технологій  
в управлінні та навчанні й інформатики  
Бердянського державного  
педагогічного університету

**Богданов І.Т.,**  
докт. пед. наук, професор,  
ректор  
Бердянського державного  
педагогічного університету

**Сичікова Я.О.,**  
докт. тех. наук,  
завідувач кафедри фізики  
та методики навчання фізики  
Бердянського державного  
педагогічного університету

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

Сучасний стрімкий розвиток технологічних галузей вимагає від системи вищої освіти підготовки компетентних фахівців у галузі наноматеріалознавства, здатних застосовувати на практиці новітні досягнення сучасної науки, творчо використовувати та створювати інноваційні наномате-

ріали і впроваджувати нанотехнології [5]. Однак підготовка таких висококваліфікованих фахівців в умовах традиційної системи освіти дуже ускладнена. Це пов'язано, по-перше, з тим, що формування професійної компетентності цього фахівця передбачає набуття ним досвіду науково-дослідної діяльності із синтезу наноматеріалів і вивчення

їх властивостей, що може забезпечити далеко не кожен заклад вищої освіти через брак фінансування; і по-друге, з переважно теоретичною репродуктивною підготовкою студентів, яка складається з великої кількості різнорідних дисциплін, зміст яких характеризується несистемною і фрагментарною професійною спрямованістю, інтеграцією, а отже – фундаменталізацією.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

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

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

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

**Мета статті** – теоретичне обґрунтування та розроблення методу фундаменталізованого навчання майбутніх нанотехнологів синтезу нових наноматеріалів.

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

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

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

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

Оскільки будь-який метод є системою усвідомленої послідовності дій людини, які сприяють досягненню результату, що відповідає визначеній меті [1, с. 163], то метод продуктивного навчання

майбутніх нанотехнологів повинен відображати алгоритм синтезу наноматеріалів.

У зв'язку з цим, перш за все необхідно розглянути узагальнений алгоритм професійної діяльності нанотехнолога зі створення нових зразків наноматеріалів із заданими властивостями для застосування їх у конкретних галузях виробництва. Для того, щоб базовий матеріал  $P$  набув потрібних нових характеристик, необхідно змінити його структуру (наноструктуру) шляхом певної технології синтезу  $T$  (хімічного травлення [3, с. 186], фотоелектрохімічного травлення [3, с. 187], імпринтингу літографії [3, с. 188], тощо). У загальному випадку вибір технології синтезу будь-якого нового наноматеріалу передбачає аналіз уже існуючих типових зразків, аналогічних тому, що необхідно створити, на предмет їх практичного застосування, складу, наноструктури, властивостей, а також технологій їх створення. Подальше виявлення закономірностей між властивостями існуючих зразків наноматеріалів і технологією їх створення дає можливість обрати найбільш оптимальну, ту, яка буде задовольняти ряд параметрів, і змінити в ній деякі умови (технологічні  $I$  та рецептурні  $A$  чинники) (рис. 1).



**Рис. 1. Структурно-функціональна схема отримання з базового матеріалу нового наноматеріалу**

Тоді поняття про новий наноматеріал із новою наноструктурою матиме вигляд:

$$P' = \{R'(I, A)_k, C'(I, A)_k, S'(I, A)_k, H'(I, A)_k\}, k=1..n, \quad (2)$$

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

Визначення закономірностей та вибір оптимального рішення про застосування тієї чи іншої технології синтезу нових зразків наноматеріалів високої якості фахівцями з наноматеріалознавства відбувається на основі широко розповсюдженого методу аналізу ієрархій [4]. Він ґрунтується

на порівнянні наявних альтернатив (технологій синтезу) з метою вибору оптимального рішення. Основу методу аналізу ієрархій складає декомпозиція проблеми на більш прості складові частини і подальша обробка суджень на кожному ієрархічному рівні за допомогою парних порівнянь [5]. У результаті може бути виражений відносний ступінь (інтенсивність) взаємодії елементів в аналізованому ієрархічному рівні або перевага одних елементів по відношенню до інших [4].

Алгоритм перетворення моделі (1) на модель (2) відображає професійну діяльність нанотехнолога із синтезу нового наноматеріалу і тому може бути використаний під час розроблення методу продуктивного навчання майбутніх нанотехнологів синтезу наноматеріалів. Такий підхід дасть змогу майбутнім фахівцям у галузі наноматеріалознавства

оцінювати результати не тільки своєї практичної діяльності, а й сформувані навички прогнозування.

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

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

Отже, враховуючи зазначене вище, нами розроблено узагальнену модель методу продуктивного навчання майбутніх нанотехнологів синтезу наноматеріалів, яку наведено на рис. 2.

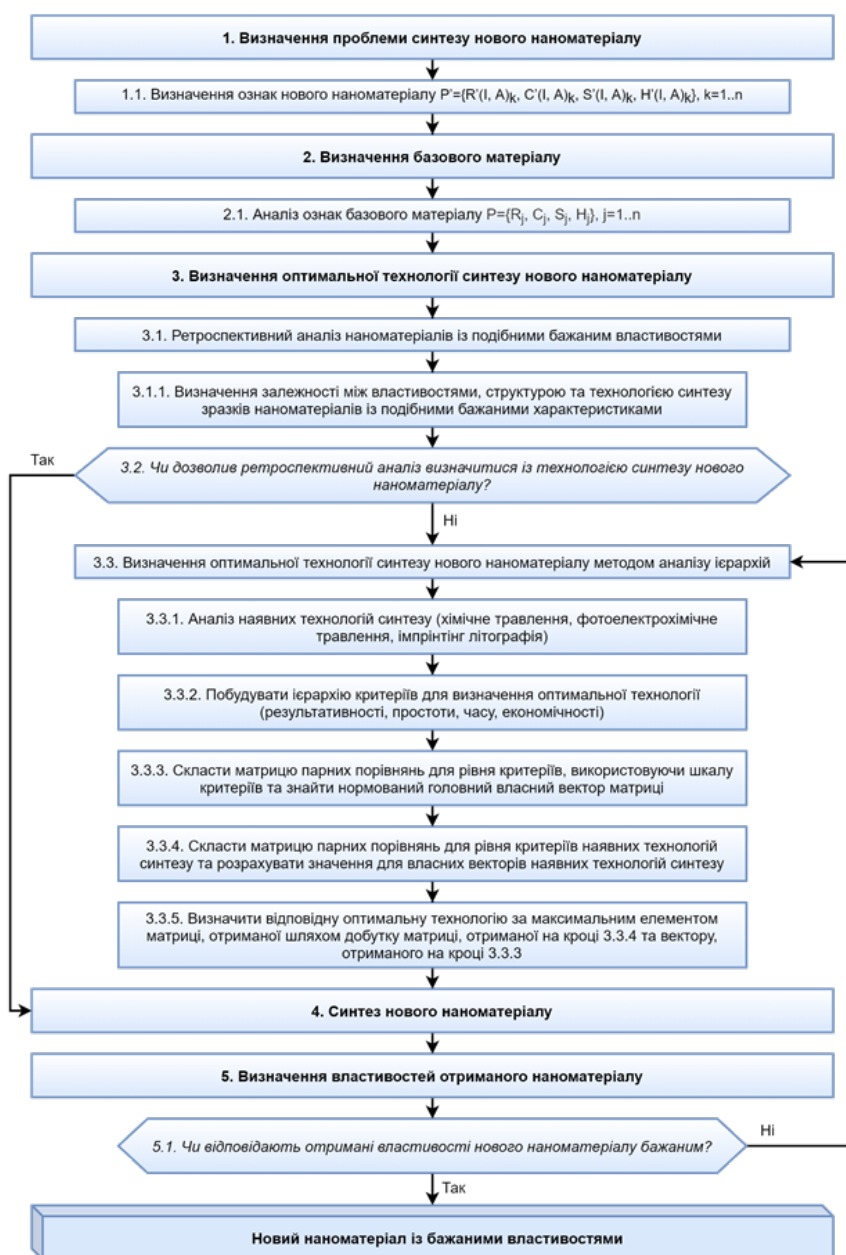


Рис. 2. Модель методу продуктивного навчання синтезу наноматеріалів

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

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

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

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

Приклад вибору оптимальної технології синтезу нового наноматеріалу на основі методу аналізу ієрархій нами детально висвітлено в роботі [5].

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

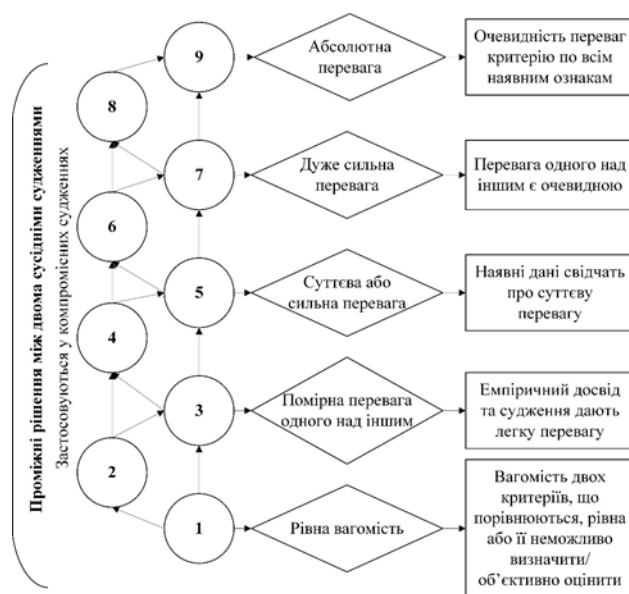


Рис. 3. Шкала відносної вагомості

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

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

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

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

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

Отримані результати будуть нами використані для розроблення дидактичних засобів навчання майбутніх нанотехнологів синтезу наноматеріалів із заданими властивостями.

**БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:**

1. Бардус І.О. Фундаменталізація професійної підготовки майбутніх фахівців у галузі інформаційних технологій до продуктивної діяльності : монографія. Харків : ПромАрт, 2018. 393 с.

2. Лазарев М.І. Полісистемне моделювання змісту технологій навчання загальноінженерних дисциплін : монографія. Харків : Вид-во НФаУ, 2003. 356 с.

3. Сичікова Я.О. Науково-методологічні засади оцінювання якості й властивостей наноструктур

на поверхні напівпровідників : дис. ... доктора тех. наук: 05.01.02 / Бердянський державний педагогічний університет; Національний науковий центр «Інститут метрології» Міністерства економічного розвитку і торгівлі України. Харків, 2018. 442 с.

4. Saaty T.L. Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 2008. Pp. 83–98.

5. Suchikova Y., Bohdanov I., Kovachov S., Bardus I., Lazarenko A. and Shishkin G. *Training of the Future Nanoscale Engineers: Methods for Selecting Efficient Solutions in the Nanostructures Synthesis*. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (August 26–28, 2021). Lviv. Pp. 584–588.