ВИДАВНИЧИЙ ДІМ «ІНЖЕК»

Kyzym M. O., Matiushenko I. Yu., Shostak I. V., Danova M. O.

PROSPECTS FOR FORESIGHT FORECASTING OF PRIORITY DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF NANOTECHNOLOGY AND NANOMATERIALS IN COUNTRIES OF THE WORLD AND UKRAINE

Monograph

Kharkiv
PH «INZHEK»
2015

Кизим М. О., Матюшенко І. Ю., Шостак І. В., Данова М. О.

ПЕРСПЕКТИВИ ФОРСАЙТ-ПРОГНОЗУВАННЯ ПРІОРИТЕТНИХ НАПРЯМІВ РОЗВИТКУ НАНОТЕХНОЛОГІЙ І НАНОМАТЕРІАЛІВ У КРАЇНАХ СВІТУ І УКРАЇНІ

Монографія

Харків
ВД «ІНЖЕК»
2015

УДК 338.2
ББК 65.050.9
К 38

Рекомендовано на засіданні вченої ради Науково-дослідного центру індустріальних проблем розвитку НАН України (протокол № 1 від 21.01.2015 р.)

Рецензенти: **Благун І. С.** д-р екон. наук, професор, Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника (м. Івано-Франківськ),

Булєєв І. П. д-р екон. наук, професор, Інститут економіки промисловості НАН України (м. Донецьк),

Алєксєєв І. В. д-р екон. наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка»

Кизим М. О.

К 38 **Перспективи форсайт-прогнозування пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій і наноматеріалів у країнах світу і Україні** : монографія / М. О. Кизим, І. Ю. Матюшенко, І. В. Шостак, М. О. Данова. – Х. : ВД «ІНЖЕК», 2015. – 272 с. Укр. мова

ISBN 978-966-392-

Викладено аналіз пріоритетів науково-технічної діяльності і нанодосліджень в Україні. Представлена прогнозна оцінка застосування нанотехнологій і наноматеріалів в економіках провідних країн світу, проведено аналіз досліджень зі створення нанотехнологій і нових матеріалів для промисловості України. На основі форсайт-прогнозування обґрунтовано методичні підходи до визначення пріоритетних напрямів нанотехнологічних досліджень і розвитку нанотехнологій в економіці України.

Монографія призначена для широкого кола читачів, що цікавляться особливостями розвитку нанотехнологій і форсайт-прогнозування в Україні в умовах її інтеграції до світогосподарської системи.

УДК 338.2
ББК 65.050.9

© Кизим М. О., Матюшенко І. Ю., Шостак І. В., Данова М. О., 2015
© ВД «ІНЖЕК», 2015

ISBN 978-966-392-

ЗМІСТ

Вступ 14

Розділ 1. Розвиток нанотехнологічних досліджень в Україні як складової впровадження NBIC-технологій в економіку країни 17

1.1. Визначення пріоритетів науково-технічної дільності в Україні для розвитку NBIC-технологій 17

1.2. Перспективні напрями розвитку нанотехнологій і наноматеріалів в економіках розвинених країн 29

1.3. Аналіз досліджень зі створення нанотехнологій і наноматеріалів для промисловості України 60

Розділ 2. Сучасні засоби технологічного прогнозування в країнах світу і Україні 71

2.1. Критичний огляд сучасних засобів технологічного прогнозування 71

2.2. Сутність технології форсайт як інструмента передбачення розвитку науково-технічного прогресу 76

2.3. Організація форсайт-досліджень у країнах світу і Україні 79

2.3.1. Організація форсайт-прогнозування в Японії 80

2.3.2. Застосування форсайт-прогнозування в США 85

2.3.3. Практика застосування форсайт-прогнозування у Великобританії 89

2.3.4. Проведення форсайт-досліджень в Нідерландах 91

2.3.5. Реалізація форсайт-прогнозування в Німеччині 92

2.3.6. Форсайт-прогнозування у Франції 93

2.3.7. Практика застосування форсайт-прогнозування в Росії 94

2.3.8. Особливості форсайт-прогнозування в Україні 99

2.3.9. Огляд особливостей реалізації форсайт-проектів в інших країнах світу 101

2.4. Узагальнена характеристика методів форсайт-досліджень 103
Розділ 3. Особливості комп'ютеризації форсайт-досліджень 115
3.1. Формалізація форсайт-прогнозування 115
3.2. Використання формалізованих моделей комп'ютеризації форсайта при прогнозуванні розвитку нанотехнологій 118
3.2.1. Прості мережі Петрі 119
3.2.2. Мережі з накопиченням подій 121
3.2.3. Мережі з розпізнавальними предикатами 121
3.2.4. Обчислювальні мережі 122
3.2.5. Самосинронізуючі мережі 123
3.2.6. Агентні мережі 124
3.2.7. Пропозиційні мережі 126
3.3. Синтез моделі реалізації форсайт-досліджень щодо прогнозування розвитку наноіндустрії у формі Joiner-мережі 127
3.3.1. Моделювання ДМ переходів поміж етапами національного форсайт-дослідження перспектив розвитку наноіндустрії 127
3.3.2. Модель вибору пріоритетів національного форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії у вигляді ДМ 130
3.4. Узагальнене подання методичного підходу до реалізації національних форсайт-проектів в Україні 131
Розділ 4. Методи формування експертних панелей в національному форсайт-дослідженні розвитку нанотехнологій 136
4.1. Огляд методів формування панелей експертів ..... .136
4.2. Формування експертних панелей національного форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії 141

Розділ 5. Застосування методів формування вихідного переліку тематичних напрямів у національних форсайт-дослідженнях розвитку нанотехнологій 144

5.1. Методи отримання кількісних експертних оцінок..... 144

5.1.1. Метод лотерей 144

5.1.2. Метод середньої точки 144

5.1.3. Метод Черчмена – Акофа 145

5.2. Методи практичного вилучення знань 146

5.2.1. Комунікативні методи 146

5.2.2. Активні групові методи..... 148

5.2.3. Текстологічні методи 150

5.3. Формування вихідного переліку та критеріїв оцінки тематичних напрямів національного форсайт-дослідження наноіндустрії 152

5.3.1. Формування переліку тематичних напрямів..... 152

Розділ 6. Застосування методів вибору пріоритетних тематичних напрямів у форсайт-дослідженні розвитку наноіндустрії 160

6.1. Можливості застосування формальних методів щодо вибору пріоритетних ТН при прогнозуванні розвитку нанотехнологій в Україні..... 160

6.1.1. Кластерізація експертних оцінок ..... .160

6.1.2. Прийняття рішень в умовах невизначеності..... 161

6.1.3. Приняття рішень в умовах ризику..... 166

6.1.4. Математичний апарат нечіткої логіки..... 167

6.1.5. Методи підтримки вибору з малого числа альтернатив на основі парних порівнянь 169

6.1.6. Парето-оптимальність 173

6.1.7. Методи багатокритеріального вибору на основі додаткової інформації..... 174

6.2. Оцінка та уточнення переліку ТН 175
6.2.1. Оцінка та уточнення переліку ТН методом Парето-оптимальності 175
6.2.2. Оцінка та уточнення переліку ТН методом *t*-впорядкування для звуження області Парето 177
Розділ 7. Результати попереднього форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії в України 178
7.1. Сценарний приклад реалізації методичного підходу до форсайт-досліджень розвитку наноіндустрії в 2009 – 2013 роках 178
7.2. Обґрунтування ефективності впровадження запропонованого методичного підходу до реалізації національних форсайт-проектів 191
Висновки 194
Література 200
Додатки 219
Додаток А 219
Додаток Б 225
Додаток В 235
Додаток Г 238
Додаток Д 248

CONTENTS

Introduction 14

Chapter 1. The development of nanotechnological research in Ukraine as an element of implementing NBIC-technologies in the economy of the country 17

1.1. Identification of priorities in the scientific and technical activities of Ukraine for the development of NBIC-technologies 17

1.2. Promising directions of development of nanotechnology and nanomaterials in economies of developed countries 29

1.3. Analysis of research focusing on creation of nanotechnology and nanometerials for the industry of Ukraine 60

Chapter 2. Modern means of technological forecasting in countries of the world and Ukraine 71

2.1. A critical review of the modern means of technological forecasting 71

2.2. The essence of the foresight technology as a tool for forecasting of the development of progress in science and technology 76

2.3. Organization of foresight studies in countries of the world and Ukraine 79

2.3.1. Organization of foresight forecasting in Japan 80

2.3.2. Application of foresight forecasting in the USA 85

2.3.3. The practice of applying foresight forecasting in Great Britain 89

2.3.4. Conducting foresight studies in the Netherlands 91

2.3.5. Implementation of foresight forecasting in Germany 92

2.3.6. Foresight forecasting in France 93

2.3.7. The practice of applying foresight forecasting in Russia 94

2.3.8. Characteristics of foresight forecasting in Ukraine.....99
2.3.9. A review of characteristics of implementation of foresight projects in other countries of the world 101
2.4. Generalized characterization of the methods used in foresight studies 103
Chapter 3. Characteristic aspects of computerization of foresight studies 115
3.1. Formalization of foresight forecasting..... 115
3.2. Use of formalized models of foresight computerization for forecasting the development of nanotechnology 118
3.2.1. Simple Petri nets 119
3.2.2. Nets with event storage 121
3.2.3. Nets with discriminatory predicates..... 121
3.2.4. Computer nets 122
3.2.5. Self-synchronizing nets 123
3.2.6. Agent nets..... 124
3.2.7. Propositional nets..... 126
3.3. Synthesis of a model for implementation of foresight studies for forecasting of the development of the nanotech industry in the form of a Joiner-net..... 127
3.3.1. Modeling the Joiner net transitions between the stages of the national foresight study of the prospects for the development of the nanotech industry 127
3.3.2. A model for selection of priorities for the national foresight study of the development of the nanotech industry in the form of a Joiner net 130
3.4. A generalized representation of the methodological approach to implementation of national foresight projects in Ukraine 131

Chapter 4. Methods of forming panels of experts in the national foresight study of the development of nanotechnology 136

4.1. A review of methods used for forming panels of experts..... .136

4.2. Forming panels of experts for the national foresight study of the development of the nanotech industry 141

Chapter 5. Application of methods of forming the initial list of topical directions in national foresight studies of the development of nanotechnology..... . 144

5.1. Methods of obtaining quantitative expert estimates 144

5.1.1. The lottery method..... 144

5.1.2. The midpoint method..... 144

5.1.3. The Churchman – Ackoff method 145

5.2. Methods of practical knowledge elicitation 146

5.2.1. Communicative methods 146

5.2.2. Active group methods..... 148

5.2.3. Textological methods..... 150

5.3. Forming the initial list and assessment criteria for the topical directions of the national foresight study of the nanotech industry..... 152

5.3.1. Forming a list of topical directions..... 152

Chapter 6. Applying methods of selection of priority topical directions in the foresight study of the development of the nanotech industry..... 160

6.1. The possibilities of application of formal methods for the purpose of selecting priority topical directions while forecasting the development of nanotechnology in Ukraine 160

6.1.1. Clusterization of expert estimates..... .160

6.1.2. Decision making under uncertainty 161

6.1.3. Decision making under risk..... 166

6.1.4. Fuzzy logic mathematical tools 167
6.1.5. Methods of support of selection from a small number of alternatives based on paired comparison 169
6.1.6. Pareto optimality 173
6.1.7. Methods of multicriteria selection on the basis of additional information 174
6.2. Evaluation and adjustment of the topical direction list 175
6.2.1. Evaluation and adjustment of the topical direction list by using the Pareto optimality method..... 175
6.2.2. Evaluation and adjustment of the topical direction list by using the t-ordering method for restriction of the Pareto area 177
Chapter 7. The results of a preliminary foresight study of the development of the nanotech industry in Ukraine..... 178
7.1. A scenario example of implementation of the methodological approach to foresight studies of the development of the nanotech industry over the period of 2009 – 2013 178
7.2. Substantiation of the effectiveness of application of the proposed methodological approach to implementation of the national foresight projects..... 191
Conclusions..... 194
References 200
Appendices..... 219
Appendix А..... 219
Appendix Б 225
Appendix В 235
Appendix Г 238
Appendix Д..... 248

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ТН – тематичні напрями.

NBIC-технології – нано-, био-, інформаційні та когнітивні технології.

NISTEP – National Institute of Science and Technology Policy.

TEP – Technology Foresight Programme.

НДДКР – науково-дослідні та дослідно-конструкторські розробки.

RPM – Robust Portfolio Models.

SWOT – Strengths; Weaknesses; Opportunities; Threats.

РІНЦ – Російський індекс наукового цитування.

PEST – Political, Economical, Sociological, Technological Change.

СА – скінченний автомат.

МП – мережі Петрі.

МРП – мережа з розпізнавальними предикатами.

ОМ – обчислювальні мережі.

СМ – самосинхронізуюча мережа.

АПМ – асинхронні перетворюючі мережі.

ПМ – пропозиційна мережа.

ДМ – Joiner-мережа.

MST – minimal spanning tree.

ОПР – особа, що приймає рішення.

МАІ – метод аналізу ієрархій.

БД – база даних.

ПІБ – прізвище, ім’я, по батькові.

СППР – система підтримки прийняття рішень.

ВСТУП

Глобалізаційні процеси, посилення регіональної економічної та політичної інтеграції є визначальною характеристикою сучасної світової економіки. Забезпечення національної конкурентоспроможності у глобальному масштабі, визначення найболючіших проблем економічного розвитку і напрямів їх вирішення стають для кожної країни дедалі гострішими.

Сьогодні практично усі розвинені держави світу (США, Японія, Південна Корея, Китай, Індія, Росія та країни Євросоюзу) вбачають у нанотехнологіях (*N*) разом з біотехнологіями (*B*), інформаційними (*I*) та когнітивними (*C*) технологіями чи не головний інструмент, за допомогою якого можна буде вирішити в недалекому майбутньому основні глобальні проблеми людства, а саме: депопуляція і старіння населення; нестача продовольства; екологічні проблеми і захист навколишнього середовища; вичерпання природних ресурсів і нова енергетика; перехід до нового технологічного укладу. Конвергенція NBIC-технологій дозволить значно прискорити розвиток соціальної сфери і підняти її на якісно новий рівень.

В Україні також проводяться фундаментальні і прикладні дослідження в сфері нанотехнологій у таких напрямах, як: медицина (зокрема, венерологія), біологія, сільське господарство, екологія, енергетика, промисловість, освоєння космосу, кібернетика, електроніка та інші [33]. В той же час, пріоритети цих досліджень потребують уточнення відповідно до глобальних проблем, які необхідно вирішувати будь-якій країні, в тому числі і з урахуванням національної специфіки прояву цих проблем, а також відповідно до наявного потенціалу і можливостей проведення нанотехнологічних досліджень.

Крім того, порівняно низька результативність виконання українських програм у попередні роки, з погляду комерціалізації результатів досліджень, суттєво уповільнює формування шостого технологічного укладу і не дозволяє швидко та ефективно підвищити конкурентоспроможність

й інвестиційну привабливість держави у світі та реформувати на цій основі українську економіку в цілому.

Практично в усіх розвинених країнах періодично формуються спеціальні програми, що визначають пріоритетні галузі розвитку науки і техніки. Методи, що використовуються у процесі розробки цих програм, отримали узагальнену назву «форсайт», від англійського «foresight» – передбачення, і до теперішнього моменту зарекомендували себе як найбільш ефективний інструмент вибору пріоритетів у сфері науки і технологій. Дана методологія дозволяє враховувати довгострокові (культурні, політичні, економічні та соціальні) наслідки впровадження нових технологій як для країн, так і для окремих галузей економіки, а також регіонів у їх складі. Основна ідея форсайта полягає у визначенні стратегічних напрямів розвитку науки, технології, економіки, соціальної сфери тощо, які через 15–20 років стануть визначальними для всього світового співтовариства [143; 184].

Серед українських та зарубіжних вчених, які в різні часи займалися вивченням форсайта, найбільш відомі: Б. А. Малицький, О. С. Попович, В. М. Глушков, Г. М. Добров, В. С. Михалевич, М. З. Згуровський, В. Г. Зінов, Н. В. Гапоненко, Ю. П. Воронов, Н. Я. Колюжнова, І. Р. Кукліна, В. П. Третьяк, М. Бен, П. Беккер, К. Дайхем, М. Кінен та ін. У роботах цих авторів обговорюються загальнотеоретичні та практичні питання застосування форсайт-методології для середньо- і довгострокового прогнозування розвитку як цілих країн, так і регіонів у їх складі.

Особливістю реалізації форсайт-проектів на національному рівні є, з *одного боку,* необхідність комбінації різних методів, що входять до складу технології форсайт, а з *іншого* – необхідність залучення значного числа експертів. Методи, що використовуються для реалізації форсайт-проектів, носять ручний характер, що тягне за собою зниження точності отриманих результатів, і, як наслідок, виникнення низки серйозних проблем, витоки яких полягають в експертному характері даної методології.

У проведеному в Україні прогнозно-аналітичному дослідженні, в рамках затвердженої Кабінетом Міністрів України в 2005 – 2006 роках Державної програми з прогнозування науково-технологічного та інноваційно-

го розвитку на 2004 – 2006 роки, брало участь більше 700 експертів [16]. Національна форсайт-методика прогнозно-аналітичних досліджень заснована на анкетуванні груп експертів, при цьому комп'ютеризація процесів обмежена лише фіксацією даних від експертів та статистичній обробці цих даних [95]. Таким чином, недостатня ефективність форсайт-проектів, що реалізуються в Україні, обумовлена суб'єктивністю, притаманною експертному оцінюванні, а також низьким рівнем комп'ютеризації.

Єдиним шляхом підвищення ефективності форсайт-досліджень є розробка і впровадження процедур автоматизації як окремих етапів, так і форсайта в цілому.

У *першому розділу* проведено аналіз розвитку нанотехнологічних досліджень у країнах світу і Україні. *Другий розділ* містить відомості про особливості використання технології форсайт для визначення перспективних напрямів науко-технічного розвитку у різних країнах світу. У *третьому розділі* розглянуто питання щодо створення адекватної моделі комп'ютеризації форсайта. В розділах з *4* по *6* йдеться мова про, відповідно, методи формування експертних панелей; методи формування вихідного переліку тематичних напрямів (ТН) та методи оцінки й уточнення ТН. У *розділі 7* наведено приклад застосування запропонованого методичного підходу до реалізації національних форсайт-проектів з визначення перспективних напрямів наноіндустрії.

Розділ 1
РОЗВИТОК НАНОТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В УКРАЇНІ ЯК СКЛАДОВОЇ ВПРОВАДЖЕННЯ NBIC-ТЕХНОЛОГІЙ В ЕКОНОМІКУ КРАЇНИ

1.1. Визначення пріоритетів науково-технічної діяльності в Україні для розвитку NBIC-технологій

Сьогодні практично усі розвинені держави світу (США, Євросоюз, Японія, Південна Корея, Китай, Індія, Росія) вбачають у нанотехнологіях (N) разом з біотехнологіями (B), інформаційними (I) та когнітивними (C) технологіями чи не головний інструмент, за допомогою якого можна буде вирішити в недалекому майбутньому основні глобальні проблеми людства.

В Україні науково-технічними дослідженнями і розробками у сфері NBIC-технологій займаються: установи НАН України, провідні українські вищі навчальні заклади, науково-виробничі підприємства Мінпромполітики України, Державний фонд фундаментальних досліджень тощо.

В Україні проводяться фундаментальні і прикладні дослідження у сфері NBIC-технологій у таких напрямах, як: медицина (зокрема, венерологія), біологія, сільське господарство, екологія, енергетика, промисловість, освоєння космосу, кібернетика, електроніка та інші [33]. В той же час, пріоритети цих досліджень потребують уточнення відповідно до глобальних проблем, які необхідно вирішувати будь-якій країні, в тому числі і з урахуванням національної специфіки прояву цих проблем, а також відповідно до наявного потенціалу і можливостей проведення NBIC-технологічних досліджень.

Крім того, порівняно низька результативність виконання українських програм у попередні роки з погляду комерціалізації результатів досліджень суттєво уповільнює формування шостого технологічного укладу і не дозво-

ляє швидко й ефективно підвищити конкурентоспроможність й інвестиційну привабливість держави у світі та реформувати на цій основі українську економіки в цілому.

Історію прийняття в Україні законодавчих актів, що визначали б пріоритетні напрями розвитку науки і техніки, можна викласти таким чином [96]:

1) у 1991 р. був прийнятий Закон України «Про основи державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності» [13], який заклав основи державної політики в науково-технологічній сфері, визначив основні механізми її формування і реалізації;
2) у 2001 р. було прийнято Закон України «Про пріоритетні напрями науки і техніки» [18] з новими пріоритетами і в якому було прописано механізм реалізації цих пріоритетів – через систему державних науково-технічних програм з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки;
3) з 2004 р. до 2006 р. виконання «Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку на 2004 – 2006 рр.» дозволило сформувати ієрархію науково-технічних та інноваційних пріоритетів на довго-, середньо- та короткострокову перспективу [65; 93; 94];
4) у 2007 р. була затверджена і виконувалась «Державна програма прогнозування науково-технологічного розвитку на 2008 – 2012 рр.», виконання першого етапу якої на базі УкрІНТЕІ дозволило відпрацювати технологію виявлення та уточнення технологій за пріоритетними напрямами розвитку науки і техніки [5];
5) у червні 2010 р. Верховна Рада України прийняла нову редакцію Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» [13; 114];
6) у вересні 2011 р. було прийнято Постанову Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 року» від 07 вересня 2011 року № 942 [6].

У *табл. 1.1* наведено порівняння пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки, що були затверджені у відповідних редакціях цього Закону та у вказаній Постанові Кабінету Міністрів України.

Як видно з табл. 1.1, затверджені пріоритети в редакції 2001 р. мають такі відмінності від редакції 1992 року [96]:

1) фундаментальні дослідження з'явилися вперше, але незрозуміло, хто буде визначати «найважливіші проблеми природничих, суспільних і гуманітарних наук», з яких проводяться вказані дослідження;
2) пріоритети з другого по восьмий сформульовані настільки загально, що охоплюють як фундаментальні, так прикладні дослідження;
3) другий пріоритет щодо розвитку ІКТ сформульовано більш конкретно, тобто вже не все приладобудування може бути до нього віднесено;
4) напрямок ресурсозбереження в енергетиці та промисловості фактично замінив енергетичний і сільськогосподарський і включив усі без винятку прогресивні технології у промисловості та сільському господарстві;
5) екологічний напрям теж сформульовано більш конкретно і відповідно до сучасних тенденцій орієнтації досліджень заради сталого економічного розвитку;
6) біотехнологічний напрям виділено в межах медико-біологічної тематики, хоча він і залишився занадто широким;
7) надзвичайно широким залишився напрямок гуманітарних наук «Проблеми демографічної політики, розвиток людського потенціалу і формування громадянського суспільства»;
8) зовсім відсутній такий важливий для України пріоритет, як «Пошук нових власних родовищ енергоносіїв».

У вказаному законі було прописано механізм реалізації обраних пріоритетів – через систему державних науково-технічних програм з пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки. Таким чином, у Законі «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» 2001 р. [18]:

Таблиця 1.1

Співставлення пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки, затверджених в редакціях Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» 1992, 2001 та 2010 рр. та Постанові КМУ № 942 від 07.09.11 р.

1992 р.	2001 р.	2010 р.	2011 р.
1	2	3	4
Відсутні	Фундаментальні дослідження з найбільш важливих проблем природничих, суспільних та гуманітарних наук	Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та її сталого розвитку	Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України та сталого розвитку суспільства і держави: 1. Найважливіші проблеми фізико-математичних і технічних наук; 2. Фундаментальні проблеми сучасного матеріалознавства; 3. Найважливіші проблеми хімії та розвитку хімічних технологій; 4. Фундаментальні проблеми наук про життя та розвиток біотехнологій; 5. Фундаментальні дослідження з актуальних проблем суспільних та гуманітарних наук
Перспективні інформаційні технології, прилади комплексної автоматизації, системи зв'язку	Нові комп'ютерні засоби і технології інформатизації суспільства	Інформаційні та комунікаційні технології	Інформаційні та комунікаційні технології: 1. Нові апаратні рішення для перспективних засобів обчислювальної техніки, інформаційних та комунікаційних технологій; 2. Інтелектуальні інформаційні та інформаційно-аналітичні технології. Інтегровані системи баз даних та знань. Національні інформаційні ресурси; 3. Суперкомп'ютерні програмно-технічні засоби, телекомунікаційні мережі та системи. Грід- та клауд-технології; 4. Технології та засоби розробки програмних продуктів і систем;

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4
			5. Технології та засоби математичного моделювання, оптимізації та системного аналізу розв'язання надскладних завдань державного значення; 6. Технології та інструментальні засоби електронного урядування. Інформаційно-аналітичні системи, системи підтримки прийняття рішень. Ситуаційні центри; 7. Технології та засоби захисту інформації
Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології Виробництво, переробка та збереження сільськогосподарської продукції	Найновіші технології і ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості і агропромисловому комплексі	Енергетика та енергоефективність	Енергетика та енергоефективність: 1. Технології ефективного енергозабезпечення будівель і споруд; 2. Технології електроенергетики; 3. Технології атомної енергетики; 4. Технології енергетичного машинобудування; 5. Технології використання нових видів палива, скидних енергоресурсів, відновлюваних та альтернативних джерел енергії. Теплонасосні технології; 6. Нанотехнології створення нового покоління мастильних матеріалів для промисловості. Технології та засоби експертно-аналітичного контролю якості моторних палив (автомобільних бензинів та дизельного палива згідно з вимогами «Євро-4», «Євро-5»; скрапленого нафтового газу і біопалива); 7. Способи застосування сучасного енергоменеджменту. Технології забезпечення енергобезпеки
Охорона навколишнього природного середовища	Збереження навколишнього середовища, усталений розвиток	Раціональне природокористування	Раціональне природокористування: 1. Технології сталого використання, збереження і збагачення біоресурсів та покращення їх якості і безпечності, збереження біорізноманіття; 2. Технології моделювання та прогнозування стану навколишнього природного середовища;

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4
			3. Технології утилізації та видалення побутових і промислових відходів; 4. Технології раціонального водокористування, підвищення ефективності очищення стічних вод та запобігання забрудненню водних об'єктів; 5. Технології очищення та запобігання забрудненню атмосферного повітря; 6. Технології раціонального використання ґрунтів і збереження їх родючості; 7. Технології виявлення і оцінки корисних копалин, їх раціонального екологічно безпечного видобування; 8. Перспективні технології агропромислового комплексу та переробної промисловості
Здоров'я людини	Найновіші біотехнології; діагностика і методи лікування найбільш розповсюджених захворювань	Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань	Науки про життя, нові технології профілактики та лікування найпоширеніших захворювань: 1. Цільові дослідження з питань гармонізації системи «людина – світ» та створення новітніх технологій покращення якості життя; 2. Створення стандартів і технології запровадження здорового способу життя, технології підвищення якості та безпеки продуктів харчування; 3. Проблеми розвитку особистості, суспільства, демографія та соціально-економічна політика; 4. Геномні технології в біомедицині та сільському господарстві; 5. Молекулярні біотехнології створення нових організмів та продуктів для сільського господарства, фармацевтичної та харчової промисловості; 6. Конструювання та технології створення нових лікарських засобів на основі спрямованого дизайну біологічно активних речовин та використання наноматеріалів;

Закінчення табл. 1.1

1	2	3	4
			7. Технології створення молекулярно-діагностичних систем та терапевтичних засобів, ферментних та бактеріальних препаратів
Нові речовини і матеріали	Нові речовини і матеріали	Нові речовини і матеріали	Нові речовини і матеріали: 1. Цільові дослідження щодо отримання нових матеріалів, їх з'єднання й оброблення; 2. Створення та застосування технологій отримання, зварювання, з'єднання та оброблення конструкційних, функціональних і композиційних матеріалів; 3. Створення та застосування нанотехнологій і технологій наноматеріалів; 4. Створення та застосування технологій отримання нових речовин хімічного виробництва

Складено за [5: 6; 13; 18; 65; 93; 94; 114].

- нові пріоритетні напрями, як і в 1992 р., були дуже різними за масштабами, але в той же час механізм їх реалізації залишався однаковим. Відповідно до статті 3 реалізація пріоритетних напрямів «здійснюється через систему державних наукових та науково-технічних програм, а також державне замовлення на науково-технічну продукцію», формування яких забезпечується «уповноваженим центральним органом виконавчої влади у сфері наукової і науково-технічної діяльності»;
- пріоритетні напрями як і раніш залишалися надзвичайно широкими і не вимагали застосування програмно-цільового методу. Перший пріоритет доцільно було б реалізувати просто за рахунок поліпшення базового фінансування академічної науки та деяких податкових пільг для наукових організацій, а інші пріоритети – за рахунок системи грантів, що надавалися б на конкурсних засадах.

Наступною спробою об'єктивізації процесу визначення інноваційно-технологічних пріоритетів на загальнонаціональному рівні стало виконання Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку у 2004 – 2006 рр., яка в результаті експертного опитування близько 700 вчених та фахівців, здійсненого у три тури за методом Дельфі, дозволила сформувати ієрархію науково-технічних та інноваційних пріоритетів на довго-, середньо- та короткострокову перспективу [65; 93; 94].

Політичні події 2004 – 2005 рр. змусили відкласти проблему конституціонування пріоритетів науково-технологічного розвитку з урахуванням отриманих прогнозних оцінок практично на п'ять років. І тільки 1 червня 2010 р. Верховна Рада України прийняла нову редакцію Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» [13].

В той же час, аналіз затверджених пріоритетів в редакції 2010 р. свідчить про таке [96]:

1) ще більш ускладнене формулювання пріоритету фундаментальних наук зовсім не свідчить про формування якихось інших програм фундаментальних досліджень, крім тих внутрішніх програм НАН

України, напрямки яких визначають відділення і Президія НАНУ. Державний фонд фундаментальних досліджень фінансує тільки окремі проекти – для будь-яких масштабних програм у нього немає коштів;

2) пріоритети з 2 по 7 практично такі ж, можливо, більш-менш переформульовані у порівнянні з 2001 роком;
3) відсутні дослідження і прикладні програми з проблем суспільствознавства і гуманітарного профілю (наприклад, розробки законодавчого забезпечення і механізмів стимулювання інноваційних процесів та структурної переорієнтації економіки на високотехнологічний розвиток);
4) відсутні напрямки «Виробництво, переробка і збереження сільськогосподарської продукції» та «Пошук нових власних родовищ енергоносіїв», які могли б стати для України одними з найбільш перспективних.

Отже, у пріоритетах зразка 2010 р. практично повністю проігноровано висновки форсайтного дослідження, виконаного в рамках Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку в 2004 – 2006 роках, яка виконувалася з метою формування ієрархії науково-технічних та інноваційних пріоритетів на довго-, середньо- та короткострокову перспективу [65]. Саме формування специфічних для кожного рівня ієрархії механізмів реалізації було одним з головних завдань вказаної Державної програми і дозволяло відійти від згубної тенденції рівної підтримки пріоритетів всіх рівнів та намагань звалити всі пріоритети в купу з метою зменшення їхньої кількості. В той же час, у Статті 4 редакції 2010 р. Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» стверджувалося, що пріоритети повинні формуватися на основі прогнозно-аналітичних досліджень у рамках державної цільової програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку [114].

Як видно з табл. 1.1, затверджені пріоритети тільки в редакції 2011 р. мають достатню ступінь деталізації, важливість яких визнана на рівні Кабінету Міністрів України. Крім того, у цій таблиці виділені ті пріоритети,

які безпосередньо пов'язані з NBIC-технологіями та їх конвергенцією, що утворюють ядро майбутнього шостого технологічного укладу.

Постановою Бюро Президії НАН України від 31.01.08 №23 [4] було затверджено Перелік найважливіших напрямів наукових досліджень і розробок, відповідність яких глобальним проблемам людства наведено в *табл. 1.2.*

Таблиця 1.2

Відповідність найважливіших напрямів наукових досліджень та розробок НАН України глобальним проблемам людства

Глобальна проблема людства	Напрямок наукових досліджень	Розробки
1	2	3
Депопуляція і старіння населення	1. Новітні біо-технології для охорони здоров'я, фармакології та АПК	1.1. Клітинні та молекулярні технології для медицини та сільського господарства; 1.2. Генноінженерні технології з використанням рекомбінантних білків для діагностики та лікування інфекційних та інших поширених захворювань; 1.3. Методи молекулярної діагностики спадкових та злоякісних захворювань; 1.4. Нове покоління лікарських препаратів для профілактики та лікування серцево-судинних, неврологічних й інфекційних захворювань; 1.5. Створення системи виявлення та моніторингу генетично модифікованих організмів на ринку України; 1.6. Створення ефективної системи протидії біозагрозам різноманітного походження, а саме: біобезпека, пов'язана з ліками, епідеміями, проявами біотероризму
Нестача продовольства	2. Високопродуктивне сільське господарство	2.1. Генетика і селекція високопродуктивних сільськогосподарських культур і тварин; 2.2. Економіко-правові проблеми забезпечення ефективного агропромислового виробництва та розвитку сільських територій; 2.3. Якісна і безпечна продукція рослинництва і тваринництва для продуктів харчування і промислової сировини; 2.4. Системи дистанційного моніторингу стану ґрунтів і посівів сільськогосподарських культур

Продовження табл. 1.2

1	2	3
Екологічні проблеми	3. Раціональне використання природно-ресурсного потенціалу	3.1. Наукове забезпечення ефективних методів і технологій пошуку, суттєвого збільшення розвіданості запасів та екологічно безпечного видобутку корисних копалин в Україні; 3.2. Розробка та впровадження засад екологічної політики держави на принципах сталого розвитку; 3.3. Збереження біотичного та ландшафтного різноманіття і подальша розбудова національної екологічної мережі; 3.4. Прогнозування змін клімату на системній основі та виконання Україною зобов'язань за Кіотським протоколом до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату; 3.5. Проблеми поводження з відходами та розробка і впровадження засад екологічно чистого виробництва
Нова енергетика та енергозбереження. Вичерпання запасів ряду видів сировини і палива	4.1. Паливно-енергетичний комплекс та енергозбереження	4.1.1. Економіко-правове забезпечення розвитку енергетики; 4.1.2. Проблеми інтеграції об'єднаної енергетичної системи України в трансєвропейську енергетичну систему; 4.1.3. Комплексна модернізація комунальної теплоенергетики; 4.1.4. Ефективне використання та подовження ресурсу газотранспортної системи; 4.1.5. Енергоощадні твердотільні джерела світла; 4.1.6. Підвищення надійності та подовження ресурсу енергетичного обладнання та систем; 4.1.7. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії
	4.2. Ядерна енергетика	4.2.1. Подовження ресурсу служби, модернізація, реконструкція ядерних енергоблоків з метою підвищення їх безпеки і ефективної експлуатації; 4.2.2. Створення елементів ядерно-паливного циклу України; 4.2.3. Поводження з відпрацьованим ядерним паливом і радіоактивними відходами; 4.2.4. Нові ядерно-енергетичні джерела енергії з високою ефективністю і гарантованою керованістю
	5.1. Наноматеріали і нанотехнології	5.1.1. Наноструктурні матеріали із заданими властивостями, технологічне обладнання; 5.1.2. Наноелектроніка; 5.1.3. Нанохімічні та нанобіологічні технології

Продовження табл. 1.2

1	2	3
Відставання від провідних країн світу в переході до нового технологічного укладу, уповільнення науково-технічного прогресу	5.2. Інформаційні технології та ресурси	5.2.1. Впровадження грід-технологій на базі інформаційно-обчислювальної мережі для потреб медицини, фармакології, генетичної інженерії, досліджень у галузі фізики високих енергій та астрофізики; 5.2.2. Теорія, моделі, методи і технічні засоби оптимізації та системного аналізу для вирішення задач трансобчислювальної складності (екологія, функціонування ринкової економіки, демографічні процеси); 5.2.3. Розробка конкурентоспроможного програмного забезпечення для комп'ютерних технологій та систем; захист інформації у комп'ютерних системах; 5.2.4. Управління складними системами; методи та засоби підтримки інформаційно-аналітичної діяльності та прийняття рішень державними органами управління; 5.2.5. Розвиток національних інформаційних ресурсів та освоєння світових джерел наукової інформації
	5.3. Нові матеріали, методи їх з’єднання та обробки	5.3.1. Конструкційні металеві та композиційні матеріали для важкого, транспортного, хімічного й енергетичного машинобудування, авіакосмічної техніки; 5.3.2. Функціональні матеріали для електроніки, приладобудування та медицини; 5.3.3. Матеріали для породоруйнівного і ріжучого інструменту 5.3.4. Матеріали для джерел струму і водневої енергетики; 5.3.5. Ресурсо- та енергозберігаючі технології виробництва і з’єднання матеріалів; 5.3.6. Інженерія поверхні; 5.3.7. Методи і засоби технічної діагностики матеріалів і конструкцій тривалої експлуатації (мости, газотранспортні системи, ємності для нафто- та газозбереження); 5.3.8. Сорбційні матеріали широкого призначення; 5.3.9. Речовини та матеріали для побутової хімії та харчової промисловості
	5.4. Машинобудування та приладобудування	5.4.1. Виробництво сучасної ракетно-космічної та авіаційної техніки, суден і електровозів нового покоління; 5.4.2. Диспетчерські системи, системи локації в різних середовищах;

Закінчення табл. 1.2

1	2	3
		5.4.3. Побутова і комунальна електронна техніка та технологічні процеси виготовлення її елементів; 5.4.4. Лазерна техніка та обладнання, технологічні процеси їх застосування; 5.4.5. Діагностичні та лікувальні програмно-технічні комплекси; 5.4.6. Бурове нафтогазове обладнання

Складено за [4].

Як видно з табл. 1.2, затверджений Перелік найважливіших напрямів наукових досліджень і розробок НАН України в цілому відповідає пріоритетам, пов'язаним з розвитком і впровадженням NBIC-технологій, хоча як і раніш ці пріоритети носять досить неконкретний характер.

1.2. Перспективні напрями розвитку нанотехнологій і наноматеріалів в економіках розвинених країн

Конвергенція чотирьох революційних науково-технологічних напрямків, а саме: *N* – нанотехнологій; *B* – біотехнологій; *I* – інформаційно-комунікаційних технологій та *C* – когнітивних наук (або конвергенція NBIC-технологій), та розвиток кожного з них дозволяє одержати якісно нові можливості для усіх сфер суспільного життя [123]. При цьому відбувається взаємний вплив і взаємне проникнення технологій, коли границі між окремими технологіями стираються, а найцікавіші й неочікувані результати з'являються саме в рамках міждисциплінарної роботи на стику наук [122].

Ще у 1959 р. Ричард Фейнман у своїй лекції «Ще багато місця у самому низу» сформулював основні нанотехнологічні принципи: мініатюризація пристроїв, аж до граничних розмірів атомно-молекулярного рівня, яка принципово покращує їх функціональні можливості; управління макровластивостями об'єкта за рахунок спрямованої заданої зміни його структури на нано- (молекулярному) рівні [161].

Протягом останніх сорока років розробка конкретних наносистем підтвердила значущість і привабливість цієї діяльності, що була передбачена наприкінці попереднього століття. Так, у 2002 р. співробітник Арагонської національної лабораторії США Коелінг уточнив зміст таких понять, як нанонаука і нанотехнології, цілями яких є: розуміння і передбачення властивостей матеріалів в області нанорозмірів; виробництво компонентів нанопристроїв, використовуючи технологічний підхід «знизу – догори»; інтегрування нанокомпонентів у пристрої макроскопічних розмірів для практичного використання.

Підсумовуючи думку більшості спеціалістів, нанонауку можна визначити як сукупність знань про структуру й особливості поведінки речовини у нанометровому масштабі розмірів, а нанотехнологію і нанотехніку – як мистецтво створювати і використовувати об'єкти і структури з характерними розмірами в діапазоні від атомарних до ≈ 100 нм (хоча б в одному з трьох вимірів). Тобто таке визначення окреслює проміжну область, що займають нанотехнології, – від світу окремих атомів, що досить точно описується квантовою механікою, до макросвіту, який підвладний континуальним теоріям (пружності, гідро- і електродинаміки тощо) [48, с.12 – 13].

Структура нанотехнологічних досліджень наведена на *рис. 1.1* [121, с. 34].

Сьогодні нанотехнології вже зачіпають і можуть докорінно змінити (за прогнозами спеціалістів) медицину і біотехнології, енергетику, електроніку, обробну промисловість і багато інших галузей економік країн світу.

Перехід до нанотехнологій, а саме до атомного конструювання будь-яких матеріалів, надає найважливіший результат – дематеріалізацію виробництва і різке якісне зменшення енерго- і ресурсоємності, що дозволить стрімко підвищити середню продуктивність праці, приведе до стрибка у розвитку виробничих сил.

Тенденція до злиття різних видів нанотехнології, біотехнології, інформаційних технологій і наук про пізнання підкреслює той факт, що нанотехнологія є сугубо міждисциплінарною галуззю науки і техніки, що, у свою чергу, утруднює класифікацію напрямів нанотехнології відповідно

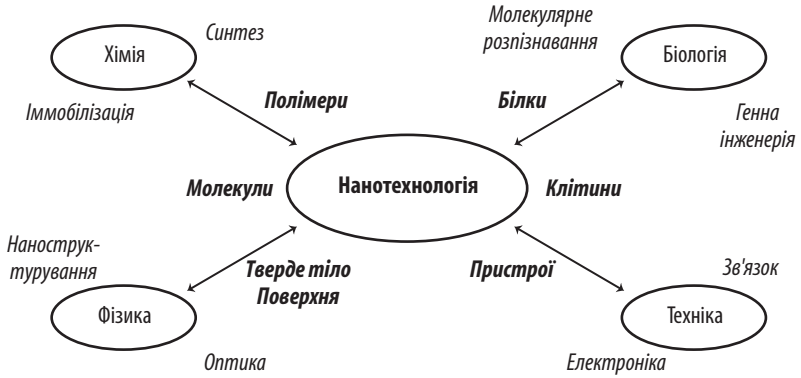

Рис. 1.1. Структура нанотехнологічних досліджень [10, с. 34].

до загальноприйнятого подання про фундаментальні науки (*табл. 1.3*) [82, с. 72].

Таблиця 1.3

Зв'язок науково-технічних дисциплін з нанотехнологіями

Галузі досліджень	Досліджувані об'єкти й можливі застосування нанотехнологій
1	2
Фізика	‣ аналітичні й механічні прилади і пристрої; ‣ скануючі зондові мікроскопи; ‣ оптичні мікроскопи ближнього поля; оптичні «щипці»; ‣ електронні, магнітні, оптичні властивості наноструктур; ‣ наномеханіка; ‣ самоорганізація структур і об'єктів
Хімія / Матеріалознавство	‣ частки і покриття; ‣ пористі матеріали; ‣ дендримерні молекули; ‣ нановолокнисті композити; ‣ структури на основі ДНК
Електроніка	‣ літографія з використанням оптичних, електронних і іонних пучків; ‣ багатошарові магнітні датчики;

Закінчення табл. 1.3

1	2
	‣ запис інформації за допомогою механічних мікрозондів; ‣ використання нанотрубок як перемикачів, провідників і т. п.
Біологія	‣ аналіз біомолекул; ‣ аналіз клітинних процесів; ‣ біомінералізація; ‣ біологічні мотори; ‣ біокомп'ютери
Медицина	‣ одержання наночасток із нанесеними на їхню поверхню антигенами / антитілами / ділянками ДНК; ‣ використання наночасток для оптичної сигналізації про стан органів і тканин, застосування магнітних наночасток для виділення й нагрівання окремих ділянок тканин, подолання імунного бар'єра організму за рахунок перенесення препаратів на наночастках; ‣ створення й використання ДНК-чипів; ‣ створення біосумісних матеріалів і речовин; ‣ використання імплантантів для контролю стану організму й дозованого введення препаратів; ‣ створення й застосування електродів, що забезпечують контакт із мозком і нервовою системою

Складено за [82, с. 73].

Останнім часом відбувається деяке розширення поняття нанотехнології – зараз до неї відносять не тільки системи й вироби з розмірами менше 100 нм. У широкому значенні цей термін уже застосовується навіть для мікроелектричних механічних систем (МЕМС) – класу мікроскопічних устроїв, виготовлених методами, запозиченими у виробників мікросхем. МЕМС – понадмініатюрні за будь-якими мірками, але їхні габарити можуть в 1000 разів перевищувати нанорозмірні об'єкти. Це пов'язане з тим, що в такий спосіб залучається увага до прикордонної зони між найменшими продуктами мініатюризації й найбільших виробів молекулярного конструювання. Саме завдяки гібридним компонентам і технологіям у цій галузі буде відбуватися поступовий розвиток і освоєння нанотехнологій. І тоді

термін МЕМС можна буде цілком обґрунтовано можна буде замінити новим – НЕМС (наноелектромеханічні устрої) [105, с. 48–50].

Специфіка явищ і процесів, які відбуваються при переході від класичної міліметрової технології, розвиток якої припав на середину XX століття у зв'язку з появою промислової електроніки, до нанотехнологій, пов'язана із проявом квантових фізичних законів і хвильовою природою мікрочастинок. Як наслідок, у цій галузі не діють закони класичних технологій, відбувається перехід від суцільної речовини класичних технологій до атомарно-структурних речовин квантової нанотехнології, людство вступає в таку «виробничу» сферу, де зникає межа між живою й неживою природою. Властивості речовин і матеріалів, створених наноелементами, обумовлені не тільки зменшенням структурних елементів, але і хвильовою природою перенесення й домінуючою роллю поверхонь розділу. На *рис. 1.2* наведено зв'язок різних наук, нанотехнологій і нанопродуктів [46; 47].

Управляючи розмірами і формою наноструктур, таким матеріалам можна надавати абсолютно нові функціональні характеристики, які різко відрізняються від характеристик звичайних матеріалів [105, с. 260]. Крім того, нанотехнології вимагають використання зовсім нових технологічних способів виробництва, що вимагають надточних інструментів і надчистих приміщень. Найпоширенішим способом одержання малих структур і виробів (наприклад, у виробництві мікроелектронних виробів) є спадне (зверху донизу) виробництво, при якому виготовлювач, користуючись макроскопічними інструментами, видаляв (або додавав) з великої заготівлі необхідну кількість матеріалу, намагаючись забезпечити можливо більшу точність розмірів.

Такий підхід при переході до наномасштабних об'єктів призводить до непереборних технічних складностей і різкого зростання вартості виробництва (для забезпечення підвищеної точності обробки). Масове, дешеве виробництво вимагає виготовлення великої кількості виробів. Стандартними підходами до організації такого виробництва є: ретельне виготовлення вихідного нанозразку, з якого потім простими операціями можна одержати велику кількість копій (літографія, штампування, тиснення, друкована

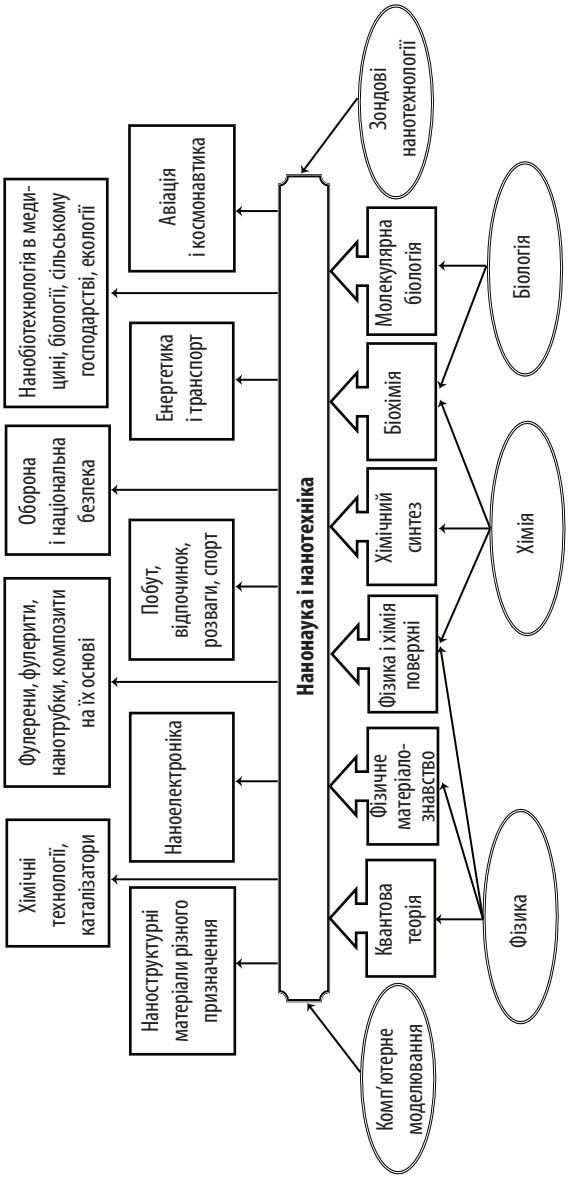

Рис. 1.2. Фундаментальні основи і сфери використання нанонауки і нанотехніки [46; 47]

справа); використання великої кількості автоматичних нано/мікроманіпуляторів, що працюють паралельно [159; 176].

Принципово інший принцип пов'язаний з так званим висхідним (знизу нагору) виробництвом, при якому під дією хімічних і каталітичних реакцій атоми й молекули самостійно збираються в наноструктури, тобто на основі самоорганізації [160]. Цей підхід ґрунтується на можливості створення навіть таких систем і матеріалів, які важко або навіть неможливо одержати традиційними хімічними методами (заснованими на термодинамічних або стохастичних процесах). Висхідні процеси припускають перехід від самоскладання до моделювання складних явищ, подібних до розвитку живих організмів [82, с. 76].

Прикладами специфічних виробничих процесів одержання наноматеріалів, відповідно до класифікації по основних способах виробництва, можуть бути такі [105, с. 48 – 50]: одержання часток з газової фази (полум'я, плазма); одержання нанокомпозитів методами золь-гель; оптична літографія, літографія із застосуванням електронних, іонних, атомарних пучків; штампування, молекулярне «друкування»; самоскладання; створення структур на поверхні при маніпуляціях окремими атомами й молекулами з використанням скануючих зондових мікроскопів; механосинтез (молекулярні нанотехнології).

Дослідники, інвестори, фірми вже оцінили можливості нових технологій і усе ширше впроваджують їх у комерційне виробництво. Очевидно, нанотехнології зможуть вийти на повномасштабне комерційне застосування після того, як будуть вирішені три проблеми: самоорганізація наноматеріалів, їхнє самоформування й самоскладання. Але вже сьогодні нанотехнології, які можна назвати системою управління речовиною на атомарно-молекулярному рівні, упевнено займають нові позиції в промисловості й у суспільному житті.

Використання нанотехнологій та їх продуктів, перш за все, виявляється у створенні наноматеріалів.

Вперше термін «наноматеріали» було уведено Г. Глейтером як нанокристалічні матеріали, а потім вже як наноструктурні, а також нанофазні,

нанокомпозитні тощо. Ним же було обґрунтовано концепцію появи нових властивостей у цих матеріалів, що заснована на суттєвому впливі ролі міжзеренних меж та інших поверхонь поділу в них [26; 167; 168].

Принципово нові властивості наноматериалів пов'язані в першу чергу із квантуванням енергетичного спектра квазичастинок у нанооб'єктах і структурах зниженої розмірності, що найбільш яскраво проявляється у фундаментальній зміні властивостей напівпровідників, магнетиків, органічних і вуглецевих матеріалів, молекулярних ансамблів. Багато що з кардинально відмінних властивостей наноматеріалів стосовно об'ємних матеріалів однакового хімічного складу обумовлено ефектами багатократного збільшення частки поверхні нанозерен і нанокластерів (до сотень квадратних метрів на грам). Із цим пов'язані нові властивості багатьох конструкційних і неорганічних наноматериалів.

Наприклад, відповідно до класифікації нанопродуктів, що була розроблена в рамках аналітичного проекту Міністерства освіти і науки Російської Федерації, речовина або об'єкт вважається наноматеріалом, якщо задовольняє наступним умовам: має розміри або властивості нанорівня; щонайменше, один із зовнішніх розмірів – в діапазоні нанорівня (менше 100 нм); внутрішні структури (кластери, кристаліти, молекули тощо) – в діапазоні 1–100 нм; елементи складу – нанорозміру (наприклад, нанокомпозити); структури або характеристики, що розробляються на молекулярному або нанорівні; не продукується живими організмами в кінцевій формі; потребує подальшої обробки, додавання інших матеріалів або додаткових витрат для відповідності цільовому призначенню, що передбачається [125, с. 46].

Основні типи наноматеріалів приведено на *рис. 1.3* [48 , с. 220; 82, с. 79].

Термін «наноматеріали» охоплює велику групу різних матеріалів (наноструктурні, нанофазні, нанопористі, нанокомпозитні, а також нанопорошки, нанотрубки, нанокапсули, нановолокна, наночастинки, наноплівки тощо), які одержані на основі нанотехнологій.

Характерною ознакою усіх таких матеріалів є наявність в них основних структурних елементів (кристалітів, пор, волокон, шарів тощо), розмір

Рис. 1.3. Основні типи наноматеріалів [48 , с. 220; 82, с. 79]

яких, щонайменше в одному вимірі, не перевищує так званої нанотехнологічної границі – 100 нм. Можливо, що в майбутньому об'єкт будуть розглядати як нанорозмірний тільки при наявності двох і, безумовно, трьох вимірів, що попадає в «нанодіапазон» [1]. Як наслідок, тільки протяжні об'єкти (в тому числі стрижні, волокна, трубки) діаметром менше 100 нм, а також частинки будь-якої форми, усі три виміри яких знаходяться у діапазоні від 1 до 100 нм, можна буде називати нанострижнями, нановолокнами, нанотрубками і наночастинками.

Деякі фахівці пропонують розділити усі наноматеріали на основні і похідні. Нанострижні, нановолокна, нанотрубки і наночастинки, незалежно від того, з яких речовин (органічних або неорганічних, металів, оксидів, складних з'єднань) вони утворені, – це категорія основних наноматеріалів. Головною ознакою, що дозволяє їх віднести до «наносфери», є те, що два чи три виміри об'єкта відносяться до нанодіапазону від 1 до 100 нм.

Похідні наноматеріали – це більш складні комплексні структури, які містять у собі основні наноматеріали. Одним з представників похідних наноматеріалів є нанокераміка, яка одержується за допомогою спікання пер-

винних наночастинок, наприклад, простих або складних оксидів металів. При цьому до складу нанокераміки, крім кристалічної нанорозмірної фази, може входити аморфна (склообразна) зв'язувальна фаза. Іншим прикладом похідних наноматеріалів можуть слугувати нанокомпозити, що складаються з первинних наночастинок, нанострижнів, нановолокон та (або) нанотрубок, пов'язаних між собою полімерною «зв'язкою», яка надає такому вторинному наноматеріалу зовсім нові корисні якості (міцність, гнучкість, термостійкість, тепло- і електропровідність тощо).

Крім того, є ще один вид матеріалів, що відноситься до наноматеріалів, – це монолітні матеріали, структурні одиниці яких мають нанорозміри. До цього виду можна віднести такі різнорідні матеріали, як активоване вугілля, яке одержують обвугленням природних структурованих висхідних матеріалів типу деревини або шкарлупи кокосових горіхів, наноструктурована глиноземна (Al_2O_3) кераміка, що використовується для виготовлення трубок газорозрядних ламп високого тиску, а також нанокристалевий металевий титан, який використовується як конструкційний матеріал.

Скорочена характеристика кожного з сегментів наноматеріалів наведена в *табл. 1.4* [125, с. 47].

Таблиця 1.4

Основні категорії наноматеріалів

Тип наноматеріалу	Визначення	Приклад
1	2	3
Тверді наночастинки	Надмалі тверді частинки нанорозміру, включаючи нанокристали і нанопорошки	Нанчастинки оксиду цинку використовуються як ультрафіолетовий фільтр у сонцезахисних кремах
Нанотрубки та інші порожнисті наночастинки	Порожнисті частинки нанорозміру, включаючи нанотрубки, а також інші види порожнистих частинок (нанорожки і нанокапсули)	Еммітери електронів для дисплеїв польового випромінення
Нанорозмірні тонкі плівки	Покриття, товщина та (або) внутрішня структура яких складають не більше 100 нм	Нанокаталітичні покриття для каталітичних конверторів

Закінчення табл. 1.4

1	2	3
Наноструктурні монолітні матеріали	Об'ємні тверді тіла, внутрішня струк-тура яких є нанорозмірною	Активоване вугілля
Нанокомпозити	Суміш двох або більше різнорідних компонентів, щонайменше один з яких має нанорозміри	Нанокомпозити Нейлон 6 (Nylon 6), що використовуються в деталях автомобілів і прозорих бар'єрних пакувальних плівках

Складено за [125, с. 47].

У табл. А.1 Додатку А представлено основні перспективні напрямки застосування наноматеріалів [20, с. 99 – 108; 102, с. 20 – 33;].

Основні функціональні властивості різних матеріалів, які можна поліпшити за рахунок застосування наноматеріалів і нанотехнологій, представлено в *табл. 1.5* [20, с. 160].

Таблиця 1.5

Властивості матеріалів, що поліпшуються за рахунок застосування наноматеріалів і нанотехнологій

Властивості	Метали	Напівпровідники	Кераміка	Полімери
Адсорбційні	–	–	–	+
Каталітичні	+	–	+	+
Магнітні	+	+	+	-
Механічні	+	–	+	+
Оптичні	+	+	–	–
Термічні	+	+	+	+
Електричні	+	+	–	–

Складено за [20, с. 160].

Слід зазначити, що в нанотехнологіях поки використовуються в основному лише хімічно однорідні типи матеріалів або структур. Надалі можуть стати надзвичайно перспективними вивчення й використання різних сполучень різнорідних наноматеріалів, що дозволяє одержати велику кількість

нових матеріалів найчастіше з несподіваними властивостями. Так, можливі бінарні сполучення різних нанооб'єктів при створенні композиційних матеріалів: нульмерних (нанокластери, нанокристали), одномірних (нанотрубки, нанодроти), двомірних (тонкі плівки, тонкі острівні структури), тримірних (аерогелі, полімери). Усього можливі 28 типів композиційних матеріалів [99, с. 219].

Більшість компаній, які сьогодні виробляють наноматеріали, являють собою підприємства середнього рівня й виробляють продукцію для так званих вузьких ринкових ніш. Їхні виробничі потужності обмежуються ринковими вимогами, причому можливість освоювати істотні промислові обсяги нанопродукції (у масштабі тонн) має лише невелике число компаній [81, с. 33 – 34].

Типи нанопродукції, вироблені найбільшими компаніями, розподіляються в такий спосіб: наночастки (54 %), нанотрубки (19 %), фулерени (7 %), пористі матеріали (7 %), квантові точки (6 %), нановолокна (3 %), нанопроводи (2 %), дендримери (2 %) [101, с. 36]. Тобто більшу частину від виробництва наноматеріалів становлять вуглецеві нанотрубки, а також металеві й метало-оксидні порошки. На другому місці – змішані металеві оксиди, неоксидні матеріали й силікати. Такі органічні частки, як дендримери, поки займають незначну частину від загального обсягу нановиробництва, хоча тут ведеться активна робота.

У промисловості в основному використовують одинарні або багатостінні вуглецеві нанотрубки. На сьогоднішній день у світі існує всього декілька (не більше 50 компаній) виробників цих нанотрубок, і їхня виробнича здатність становить від декількох десятків грамів до декількох сотень кілограмів вуглецевих нанотрубок на рік. Загальносвітова річна виробнича ємність для одинарних нанотрубок становить 10–15 тонн, а для багатостінних нанотрубок – 100 – 120 тонн. Основними виробниками нанотрубок є США, Китай і Японія.

Цілком зрозуміло, що наноматеріали створюються і реалізуються виробникам кінцевої продукції в усіх індустріальних секторах економіки. У табл. Б 1 Додатку Б наведені приклади використання наноматеріалів, що вже сьогодні знаходяться у комерційному виробництві і представлені на

ринку, у чотирьох основних індустріальних секторах [125, с. 351 – 354], а також у табл. Б 2 представлено прогноз виходу на стадію комерційного застосування наноматеріалів, що знаходяться у стадії розробки, по секторах наноіндустрії в період 2009 – 2015 рр. [125, с. 355 – 357].

У *табл. 1.6* також представлене сьогодення й майбутнє у застосуванні наночастинок [81, с. 54 – 56].

Таблиця 1.6

Сьогодення й майбутнє у застосуванні наночастинок

Галузь застосування	У розробці	На ринку	Добре вивчено
1	2	3	4
Медицина, охорона здоров'я	‣ Нанокристалічні ліки для розсмоктування; ‣ Інсулін, що вдихається; ‣ Наносфери для ліків, що вдихаються; ‣ Стимулятори росту кісток; ‣ Використання квантових точок для виявлення вірусів; ‣ Антиракове лікування; ‣ Покриття для імплантантів (гідроксіапатит)	‣ Креми й лосьони від засмаги, що використовують Zn і Ti_2; ‣ Молекулярне маркування: квантові точки, CdSe; ‣ Засоби доставки ліків з малою розчинністю у воді	‣ Фунгіцид на основі Zn; ‣ Au для біомаркування й виявлення; ‣ Агенти контрастного відображення магнітного резонансу, що використовують надпарамагнетичний оксид заліза
Виробництво продуктів харчування	Контрольована доставка гербіцидів і пестицидів	–	Добавки в ґрунт на основі заліза
Енергетика	Нікелеві й металеві гідриди для батарей	Екологічно чисті каталізатори, двоокис церію в дизельних двигунах	Каталізатори для двигунів внутрішнього згоряння
Охорона навколишнього середовища		‣ Алюмінієві волокна для очищення води; ‣ Самоочисне скло з використанням нанопокриттів на основі Ti_2;	

Продовження табл. 1.6

1	2	3	4
		• Фотокаталітичне очищення води на основі Ti_2O; • Невідбиваючі покриття	
Матеріали й проектування	• Матеріали для створення покриттів: WC, Ta Ti, Co; • Свічі запалювання на основі нанометалів і керамічних порошків; • Нанопористі кварцеві аерогелеві високоефек-тивні діелектрики; • Хімічні датчики; • Ультрафільтри	• Зносостійкі покриття на основі Al, Y-Zr_2O_3; • Укріплені наноглиною полімерні композити; • Змащуючі гідравлічні добавки: $CuMo_2$; • Пігменти; • Поліпшені покриття, стійкі до подряпин; • Самоочисне скло на основі Ti_2; • Компоненти ракетного палива на основі Al	• Структурні поліпшення полімерів і композитів; • Термічні спреєві покриття, основані на Ti_2, Ti-Co та ін.; • Чорнила на металевих порошках: такі, що проводять, магнетичні та ін.
Електроніка	• Магнітні наночастинки для створення запам'ятовуючих пристроїв високої щільності зберігання інформації; • Захист від електромагнітних перешкод з використанням провідних і магнітних матеріалів; • Електронні схеми на основі Cu, Al; • Технології відображення з використанням устроїв автоелектронної емісії на основі провідних оксидів	• Феррорідини на основі магнітних матеріалів; • Оптико-електронні устрої: комутатори на основі кераміки, легованої рідкоземельними елементами; • Провідні покриття й тканини на основі кераміки, легованої рідкоземельними елементами	• Керуючі мікропроцесори на основі алюмінію й двоокису церію; • Покриття й супутні матеріали для волокон на основі Si
Товари широкого вжитку		Пристрої для боротьби з підробками	• Пакування з використанням силікатів;

Закінчення табл. 1.6

1	2	3	4
			‣ Змащення для лиж; ‣ Білизна; ‣ Скляні покриття для протизасліплюючих і незапітнюючих дзеркал на основі Ti_2; ‣ Спортивні товари: тенісні м'ячі й ракетки на основі наноглини; ‣ Кахель, покритий алюмінієм та інш.; ‣ Керамічна сантехніка

Складено за [81, с. 54–56].

Термін «продукт» у загальному вигляді визначають як матеріальний або нематеріальний результат людської праці [34]. У матеріально-речовій сфері – це є виробом, який одержують з висхідної сировини і матеріалів технологічним засобом, в результаті якого властивості висхідного матеріалу змінюються, а продукт набуває нової споживчої вартості.

Даним визначенням відповідають як наноматеріали, так і вироби, створені за допомогою нанотехнологій. При цьому наноматеріали відповідають вказаним визначенням навіть у більшій мірі внаслідок того, що при створенні наноматеріалів висхідні речовини (сировина) перетворюється докорінно, набуваючи і проявляючи абсолютно нові властивості. При виготовленні товарів кінцевого споживання з використанням наноматеріалів / нанотехнологій саме наноматеріали є складовою часткою / інгредієнтом товару і надають йому додаткові властивості, не змінюючи висхідного призначення товару.

Нанопродукти поділяють на первинний і вторинний. Первинним нанопродуктом є власне наноматеріали, які складають ядро ринку нано.

Вони використовуються у виробництві товарів кінцевого споживання, які, у свою чергу, є вторинними нанопродуктами [125, с. 22 – 24]. Подібний поділ необхідний у зв'язку з потребою більш точного визначення ємності ринку нанопродуктів. Реальною науково-технічною основою ринку є наноматеріали і технології їх одержання. При цьому вони займають тільки незначну частку ринку. Значно більшу частку складають вироби, створені з використанням нанотехнологій.

До категорії «продукція наноіндустрії» можна віднести [125]:

- первинну нанотехнологічну продукцію – продукцію (нанооб'єкти, наносистеми і особливо чисті речовини), створену безпосередньо із застосуванням нанотехнологій, включаючи базову сировину і напівфабрикати для наноіндустрії (зокрема, нанопорошки і наноматеріали);
- продукцію, що містить нано – продукцію (товари), яка містить нанотехнологічні компоненти (нанооб'єкти, наносистеми і особливо чисті речовини), в тому числі вироблену з використанням первинної нанотехнологічної продукції;
- нанотехнологічні роботи і послуги – роботи і послуги, проведення (надання) яких здійснюється з використанням нанотехнологій або технологій використання первинної нанотехнологічної продукції і (або) тієї, що містить нано.

При оцінці обсягів ринку вторинних нанопродуктів важливо мати дані про кількість і обсяги наноматеріалів, що використовуються, тобто первинних нанопродуктів. Це дозволяє оцінити реальні обсяги ринку і уникнути ефекту подвійного (а іноді і багаторазового) врахування продажів.

Класифікація нанопродукції, що враховує її ієрархічну складність, наведена на *рис. 1.4* [48, с. 17].

Самий широкий клас – це наноматеріали і окремі нанооб'єкти, наступний – нановироби, що складаються з багатьох елементів або потребують спеціальної обробки матеріалів. Більш складними в устрої та виробництві є гібридні системи, де сполучаються, наприклад, мікро-/наномеханічні вузли і електроніка (МЕМС/НЕМС); мікрохімічні лабораторії на одному чипі

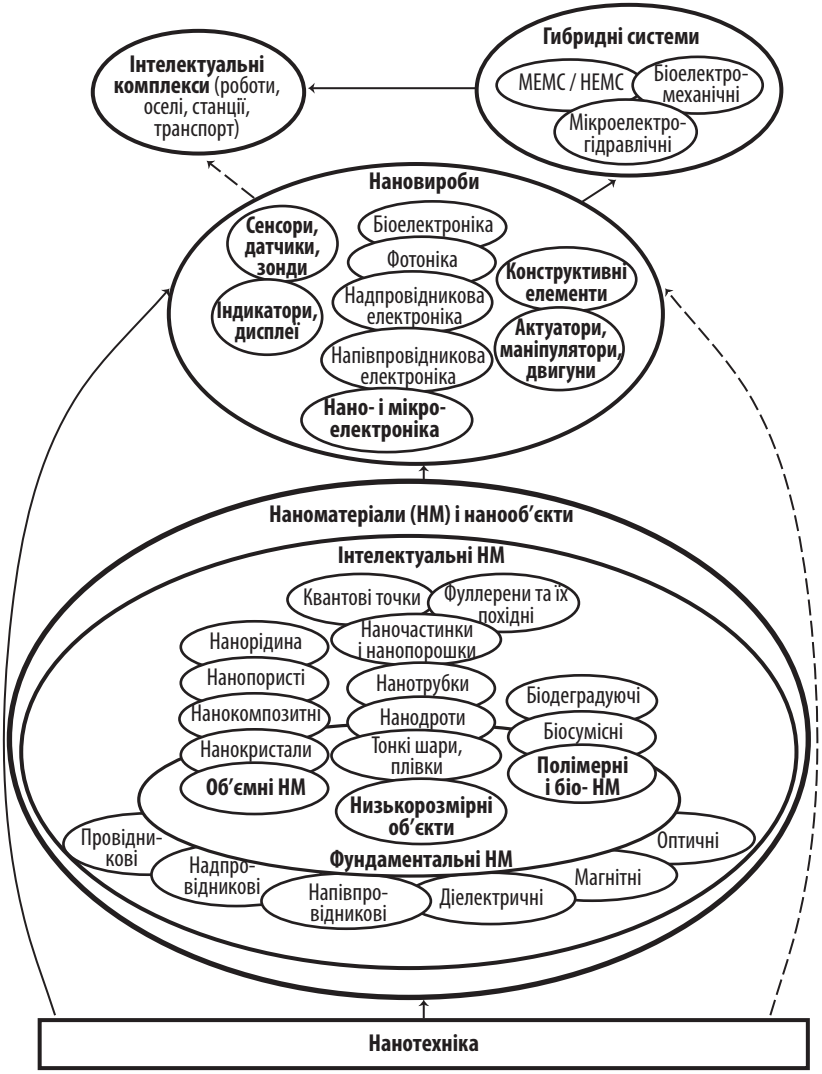

Рис. 1.4. Класифікація нанопродукції [48, с. 17]

тощо. Нарешті на вершині структурної піраміди стоять інтелектуальні роботи, багатокомпонентні системи, які мають у своєму складі сенсорні вузли, процесорну частину, виконавчі органи, рушій тощо.

Сьогодні нанотехнології використовуються у виробництві як мінімум 80 груп споживчих товарів і понад 600 видів сировинних матеріалів, що комплектуючих виробів і промислового встаткування. На отриману із застосуванням нанотехнологій продукцію припадає близько 0,01 % світового ВВП, а до 2015-го року цей показник може скласти вже 0,5 – 0,7 %.

Найбільшими споживачами нанотоварів є компанії з охорони навколишнього середовища (56 % загального обсягу ринку), електроніки (20,8 %) і енергетики (14,1 %) [88, с. 20 – 22].

Сучасне застосування нанотехнологій, спрямоване на рішення глобальних проблем, наведено в *табл. 1.7* [28, с. 51 – 52].

Таблиця 1.7

Сучасне застосування нанотехнологій і глобальні проблеми

Глобальна проблема	Застосування нанотехнологій
1	2
Депопуляція й старіння людства	1. Цільова доставка ліків і протеїнів. 2. Біополімери й загоєння біологічних тканин. 3. Клінічна й медична діагностика. 4. Створення штучних м'язів, костей, імплантація живих органів. 5. Біомеханіка, геноміка, біоінформатика й біоінструментарій. 6. Фармацевтика на нанорівні. 7. Реєстрація й ідентифікація канцерогенних тканин, патогенів і біологічно шкідливих агентів
Нестача продовольства	1. Безпека в сільському господарстві і при виробництві їжі; 2. Розробка нових високопродуктивних сортів рослин, тварин і ін.
Екологічні проблеми, захист навколишнього середовища	1. Устрої контролю оточуючого середовища
Нова енергетика й вичерпання природних ресурсів	1. Паливні елементи й устрої для зберігання енергії. 2. Сонячні елементи

Закінчення табл. 1.7

1	2
Перехід до нового технологічного укладу	1. Елементи наноелектроніки й нанофотоніки – напівпроводникові транзистори й лазери, фотодетектори, сенсори тощо. 2. Устрої надщільного запису інформації. 3. Телекомунікаційні, інформаційні й обчислювальні технології, суперкомп'ютери; пласкіекрани, вадеопроектори й монітори комп'ютерів. 4. Молекулярні електронні устрої, у тому числі перемикачі й електронні схеми на молекулярному рівні; нанолітографія й наноімпринтинг. 5. Устрій мікро- і наномеханіки, у тому числі актюатори й трансдуктори, молекулярні мотори й наномотори, нанороботи. 6. Нанохімія й каталіз, у тому числі управління горінням, нанесення покриттів, електрохімія. 7. Авіаційне, космічне й оборонне застосування. 8. Засоби забезпечення безпеки й боротьби з тероризмом

Складено за [28, с. 51 – 52].

Нанотехнології перебувають на стику наукових і інженерних наук, а сфери їхнього застосування в найближчому майбутньому (на період до 2015 р.) можуть бути представлені в *табл. 1.8* [139, с. 35].

Наскільки незвичайна структура й властивості наноструктур, настільки ж різноманітні й дивовижні можливості їхнього використання в найрізноманітніших сферах діяльності людини.

Таблиця 1.8

Потенційні сфери застосування нанотехнологій

Сфера	Метод «знизу нагору»	Метод «зверху вниз»
1	2	3
Медицина	Покриття для імплантантів, антимікробні покриття	Сенсори, «лабораторії-на-чипі»
Охорона оточуючого середовища	Засоби збору забруднюючих речовин, очищення поди й повітря, керамічні мембрани	Матеріали для сонячних панелей
Енергетика	Компоненти ядерних реакторів, кабелі для ліній електропередачі	Покриття й матеріали для контейнерів з радіоактивними відходами й відходами спалювання викопного палива

Закінчення табл. 1.8

1	2	3
Космонавтика	Покриття й матеріали для елементів фюзеляжу й сопів	Матеріали для двигуна й сонячних панелей
Автомобілебудування	Антикорозійні покриття, вікна, покришки, запалювальники	Електроди для свинцевих акумуляторів
Озброєння	Броня, боєприпаси й покриття для стовбурів	Компоненти двигунів
Промислові покриття	Безпечні для навколишнього середовища покриття (замінники хрому, кадмію й берилію), магнітні покриття	Антикорозійні покриття
Споживчі товари	Спортивне спорядження, настільні й портативні комп'ютери, телевізори, косметика	Компоненти аудіосистем

Складено за [139, с. 35].

Відомий американський вчений, що займається розробкою і впровадженням нанотехнологій, М. Роко виділяє чотири основні покоління нанотехнологічних матеріалів і продуктів, початок кожного з яких може визначатись появою перших комерційних прототипів (що відповідає певному рівню розвитку нанотехнологій). У *табл. 1.9* наведено основні характеристики поколінь наноматеріалів і нанооб'єктів, що будуть з'являтися у недалекому майбутньому [82, с. 130 – 131].

Таблиця 1.9

Основні характеристики поколінь наноматеріалів і нанооб'єктів, що прогнозуються

Покоління	Суттєві ознаки	Основні характеристики наноматеріалів і нанооб'єктів
1	2	3
Перше покоління (з 2001 р.)	Пасивні структури – синтезовані для забезпечення наперед заданих макроскопічних характеристик або функцій об'єктів, що створюються	Нанопокриття, дисперсії наночасток і деякі об'ємні матеріали (наприклад, наноструктуровані метали, полімери, керамічні вироби)

Продовження табл. 1.9

1	2	3
Друге покоління (з 2004 р.)	Активні структури – спроможні реагувати на зовнішній вплив (механічний, електронний, магнітний, фотонний, біологічний) і поєднані з іншими мікроскопічними пристроями і системами	1. Нові типи нанотранзисторів, деякі компоненти підсилювачів на КМОП-структурах; 2. Ліки і хімічні препарати гостроспрямованої дії; 3. Деякі типи приводів, так звані «штучні м'язи»; 4. Адаптивні структури тощо
Третє покоління (з 2010 р.)	Трьохвимірні структури – синтезовані різними методами, включно з біологічними методами ієрархічної самоорганізації, при якій структури схожі на мікророботів, що самі розвиваються і мають власну і змінну поведінку	1. Розробка гетерогенних наноструктур і супрамолекулярних систем, у поведінці яких можна виділити деякі принципи еволюційного розвитку; 2. Штучні «органи» почуттів і біологічні «тканини» людського організму, які виробляються за допомогою спрямованого та ієрархічно організованого самозбирання; 3. В електроніці – поява обчислювальних та інформаційних нанопристроїв, дію яких буде засновано на квантових взаємодіях або на принципах фотоніки і спінтроніки (на основі використання спіну електронів); 4. Мікротехніка, тобто виробництво (наприклад, на основі систем, що самоорганізуються) нанометричних механоелектричних пристроїв (НЕМС); 5. Продукти і матеріали невідомих зараз типів, які неодмінно виникнуть в результаті злиття технологій в рамках концепції NBIC. Ці технології будуть мати багатостадійний характер, тобто використовувати різні методики на різних рівнях ієрархічного виробництва
Четверте покоління (з 2015 р.)	Гетерогенні молекулярні наноструктури – в яких кожна складна молекула є спеціалізованою наноструктурою з особливою побудовою і високою функціональністю	1. Розвиток атомарно-молекулярної інженерії, основаної на ще невідомих закономірностях самоорганізації речовини; 2. «Проектування» макромолекул із заданими властивостями; 3. Створення нанорозмірних механічних пристроїв;

Закінчення табл. 1.9

1	2	3
	Це, по суті, молекулярні пристрої, оскільки у вказані молекули будуть закладатись найскладніші функціональні можливості	4. Спрямована і багаторівнева самоорганізація атомарних структур з квантово-механічним контролем процесів збирання; 5. Створення нанопристроїв для медичного контролю та лікування; 6. Забезпечення безпосередньої взаємодії між людиною і обчислювальними пристроями на рівні контакту нервових кінцевих частин з електронними мережами

Складено за [82, с. 130 – 131].

У загальному вигляді можливості застосування наноструктур наведено в *табл. 1.10* [48, с. 276 – 277].

Таблиця 1.10

Можливі застосування наноструктур у різних сферах діяльності

Вироби	Характерні властивості й галузь застосування
1	2
Наносенсори	Для реєстрації різних фізичних і хімічних впливів
Нові високоміцні конструкційні матеріали на основі нанотрубок (фулереновий, нановолокон) як основного несучого компонента або наповнювача в композиційних матеріалах	Конструкційні матеріали з рекордними значеннями міцності на стискання, розтягання й вигин (від 10 до 100 ГПа), що в десятки разів вище, ніж у високоміцних сталей при щільності в 6 разів менше. Зміцнення наночастинками автомобільних покришок, полімерів, лакофарбових покриттів, скла, бетону
Ультратверді покриття (на рівні твердості алмаза й вище)	Інструмент, пари, що труться, зносостійкі матеріали
Мастильні складові й присадки до масел	Для роботи в екстремальних умовах і підвищення службових характеристик пар, що труться
Контейнери водневого палива	Елементи хімічних джерел струму, зокрема літієвих батарей
Контрастуюча речовина	Для магнітно-резонансної томографії на основі парамагнітних атомів, розташованих у фулереновий каркас. Вони

Закінчення табл. 1.10

1	2
	менш токсичні, ніж звичайно застосовувані хелатні комплекси, і дозволяють отримувати більш чіткі зображення
Зонди	Для скануючої мікроскопії, атомних маніпуляторів, наномеханічних накопичувачів інформації
Нанопровідники, нанорезистори, нанотранзистори, нанооптичні елементи	Нанооптоелектроніка нового покоління
Захисні екрани	Захист від електромагнітного випромінювання, високих температур, технологій «стелс» (невидимі для радарів поверхні)
Наноконтейнери	Для доставки й індивідуального дозування ліків, діагностичних коштів
Вістря	Для створення великогабаритних плоскопанельних дисплеїв високої чіткості і яскравості
Надміцні канати	Для запуску й утримання супутників на геостаціонарній орбіті

Складено за [48, с. 276 – 277].

Масовому застосуванню поки перешкоджають головним чином відсутність зручних високопродуктивних технологій одержання й розсортовування наноструктур і, як наслідок, висока вартість. У той же час, у ряді галузей це не є вирішальним чинником. Так, для виробництва наноелектроніки, фотонних приладів, сенсорів не потрібна велика кількість матеріалу. Крім того, можливості застосування нових продуктів і технологій в оборонній промисловості, національній безпеці, медицині слабко залежать від їхньої вартості.

У своєму аналітичному докладі 2006 р. американська компанія Rand Corp. (США) на основі оцінок як американських, так і зарубіжних експертів виокремила 56 конвергентних NBIC-технологій, з яких 16 – мають найбільш високу ймовірність комерційного використання і ринкового попиту, що представлено в *табл. 1.11* [78].

Таблиця 1.11

Області технічних можливостей 16 NBIC-технологій у найбільш перспективних областях для комерційного використання до 2020 р.

Галузь	Найменування технологічних областей конвергенції	Характеристика областей технологічної конвергенції
1	2	3
Медичне обслуговування	1.1. Цільова доставка лікарських засобів в організм людини	Лікарська терапія, яка на преференційній основі буде доставляти лікарський засіб до конкретної пухлини або патогенним мікроорганізмам для здійснення на них впливу без шкоди для здорових клітин і тіла
	1.2. Тканинна інженерія	Використання технологій проектування та імплантації або заміни людських органів на основі живих тканин
	1.3. Покращені методи діагностики і хірургії	Методи, що підвищують точність і ефективність хірургічних процедур, зменшуючи інвазійність новоутворень і час на оздоровлення
Сільське господарство	2.1. Генетично модифіковані злакові і лісові культури	‣ Виробництво продовольчих товарів з покращеними їстівними властивостями на основі використання можливостей генної інженерії; ‣ Збільшення виробництва продовольства на основі адаптації до місцевих умов злакових культур; ‣ Зменшення використання пестицидів шляхом посилення опірності сільськогосподарським шкідникам
Екологія і ресурсозбереження, середовище для життя	3.1. Дешеві автономні будівлі	Дешеві житлові будівлі, що самодостатні за енергоспоживанням для опалення, охолодження і приготування їжі і адаптовані до місцевих умов
	3.2. Технології «зеленого» виробництва	Перебудова виробничих процесів в обробній промисловості, які зменшують відходи виробництва і необхідність використання для цього токсичних матеріалів
	3.3. Швидке біотестування	Технології дозволяють здійснювати швидке тестування на наявність або відсутність тих чи інших специфічних біологічних речовин у різних середовищах
	3.4. Фільтри і каталізатори	Техніка, обладнання і матеріали, зокрема для очищення води
Енергетика і енергозбереження	4.1. Сонячна енергетика	Використання дешевих геліоустановок (сонячних систем) для опалення приміщень і гарячого водопостачання, особливо у країнах, що розвиваються

Закінчення табл. 1.11

1	2	3
Електроніка та ІКТ	5.1. Комунікаційне обслуговування для доступу до інформації, що повсюди	Буде мати великий потенціал зі збереження метатекстів і усіх типів мультимедійної інформації
	5.2. Сільські бездротові комунікаційні системи	Широке розповсюдження бездротової комунікаційної інфраструктури для телефонного та Інтернет- зв'язку
	5.3. Мініатюрні комп'ютери	Комп'ютерні пристрої, вмонтовані в одежу, сумки, ювелірні прикраси тощо
	5.4. Квантова криптографія	Використання квантових методів для кодування інформації при її передаванні
	5.5. Повсюдна радіочастотна ідентифікація особи і комерційних товарів	Широке застосування ідентифікаційних радіочастотних технологій при визначенні особи, а також при маркуванні товарів, що надходять на ринок
Технічні засоби шостого укладу	6.1. Гібридні автомобілі	Надходження на ринок автомобілів з комбінованими двигунами, що працюють від різних джерел
	6.2. Дешеві сенсори	Наявність сенсорів у більшості місць загального призначення і створення мереж сенсорів дозволить здійснювати спостереження в режимі реального часу, в тому числі для боротьби з міжнародним тероризмом

Складено за [78, с. 99 – 102].

Крім того, в рамках ЄС у 2004 – 2005 рр. був виконаний проект технологічного форсайту, що охоплює період 2015 – 2030 рр. і наступні роки. Результати цього форсайту використовувались при розробці інноваційної політики країн ЄС, а також США і Японії. В результаті аналізу були відібрані 40 пріоритетних інноваційних технологій і встановлені 4 пріоритетні області:

- нанотехнології та нові матеріали (11 технологій);
- технології інформаційного суспільства (12 технологій);

- технології наук про життя, геноміки і біотехнології (8 технологій);
- технології сталого розвитку, глобальної зміни клімату і екосистеми (9 технологій).

В *табл. 1.12* представлені форсайт-оцінки ЄС етапів і очікуваних термінів створення пріоритетних інноваційних технологій, що мають пряме або опосередковане відношення до NBIC-технологій [243, с. 126 – 127].

Таблиця 1.12

Форсайт-оцінка пріоритетних інноваційних NBIC-технологій XXI століття в країнах ЄС, США і Японії в період 2015 – 2030 рр.

Галузь	Пріоритетні технології	Роки				
		2015	2020	2025	2030	Після 2030
1	2	3	4	5	6	7
Медичне обслуговування	1.1. Застосування стовбурових клітин для лікування різних захворювань людини	E*	E/G	G	M	M
	1.2. Тканинна інженерія	E	G	G	M	M
	1.3. Технології виробництва персоніфікованих лікарських препаратів і лікування	E	G	G	M	M
	1.4. Біогенетичні матеріали	E	E	G	M	M
	1.5. Геноми людини і протеоміка	E	E	E/G	M	M
	1.6. Хірургія на основі комп'ютерних технологій	E/G	G	G	M	M
	1.7. Протеїновий інжиніринг	E	G	G	M	M
	1.8.Технології широкомасштабного аналізу ДНК	E	E	G	M	M
	1.9. Нові інструменти для проведення діагностики на живому організмі (in-vivo)	E	E	E	G/M	M
	1.10. Клітинна терапія	E	E	E	E	G/M
	1.11. Використання нанотехнологій і наночастинок в терапії	E	E	E	E	E

Продовження табл.1.12

1	2	3	4	5	6	7
	1.12. Діагностична техніка і «ремонт» людських органів	E	G	G	M	M
	1.13. Штучні «інтелектуальні кінцівки» людини	E	E	E	E	E
Екологія і середовище для життя	2.1. Технології поглинання і збереження CO_2	E	G	G	M	M
	2.2. Нові технології очищення повітря і води	E	G	G	M	M
	2.3. Активні пакувальні матеріали	E	G	G/M	M	M
	2.4. Біоактивні матеріали і покриття	E	E	G	M	M
Енергетика і енергозбереження	3.1. Технології більш ефективного енергоспоживання	E	G	M	M	M
	3.2. Недорогі високоефективні фотоелементи для сонячних батарей	E	G	G	M	M
	3.3. Нові технології для паливних елементів	E	G	G	M	M
	3.4. Біопалива	E	G	G	M	M
	3.5. Нові технології збереження енергії	E	G	G	M	M
	3.6. Термоядерна енергія	E	E	E	E	E
Електроніка і ІКТ	4.1. Реалізація глобального логістичного ланцюжка	G	G/M	M	M	M
	4.2. Логістичні ланцюжки, основані на використанні усюди радіочастотних ідентифікаторів (RFIDs)	E	E	E	M	M
	4.3. Програмні технології для трансфера цифрових даних	E/G	E/G	M	M	M
	4.4. Сучасні технології для збирання даних і системи збереження інформації високої продуктивності	E	G	G	M	M
	4.5. Широкосмугові мережі	E	E/G	G/M	M	M
	4.6. Мобільні комунікації (4-е покоління мобільних телефонів)	E	G	M	M	M

Закінчення табл.1.12

1	2	3	4	5	6	7
	4.7. Сучасні технології для віртуальної реальності	E	G	G	M	M
	4.8. Проектування структур з інтелектуальною поведінкою і зворотними реакціями	E	E/G	G	M	M
	4.9. Повне моделювання при здійсненні трансформації матеріалів та інтеграції у базах даних – «Віртуальна хімія»	E	E	G	G/M	M
	4.10. Технології застосування вмонтованих одиничних чипів	E	E	E/G	M	M
	4.11. Відеосенсори	E	G	M	M	M
	4.12. Мікросенсори і наносенсори	E	E	E	E	E
	4.13. Біочипи	E	E	E	E	E
Матеріали і технології	5.1. Нанокомпозитні матеріали і нанометричні підсилення матеріалів в електроніці, хімії, медицині тощо	E	E	E	G	M
	5.2. Надтонкі функціональні покриття	E	G	G	M	M
	5.3. Структурно «розумні» матеріали	E	E	G	M	M
	5.4. Матеріали, що відтворюються і придатні для повторного використання	E	G	G	G	M

E – очікувані (що розробляються) технології; G – технології, що знаходяться у стадії зростання; M – остаточно розроблені технології, що використовуються для виробництва товарної продукції та її комерціалізації. Термін остаточної розробки технології охоплює 10–15 років; очікувані терміни комерційного використання – до 15 років.

Складено за [78, с. 126 – 127].

Класифікація секторів ринку нанопродуктів, представлена російськими фахівцями [125], дозволила провести аналіз обсягів продажів первинних нанопродуктів на світовому ринку в 2009 р., який склав 22,7 млрд дол.

При цьому криза скоротила продажі на 16 % відносно до передкризових обсягів у 27,9 млрд дол. Основний обсяг ринку сформували продажі наноматеріалів (10,1 млрд дол.), серед секторів – «Обробна промисловість» (4,0 млрд дол.), «Енергетика» (3,9 млрд дол.), «Медицина і біотехнологія» (2,6 млрд дол.), а також «Спеціальне обладнання і приладна база» (2,6 млрд дол.).

З урахуванням динаміки, що складується, рейтинг секторів за обсягами продажів та в період 2009 – 2014 рр. збережеться (див. *табл. 1.13* [125, с. 61]), при цьому найбільше зростання очікується в електронній промисловості, що, можливо, перемістить цей сектор з останньої рейтингової позиції.

Таблиця 1.13

Рейтинг секторів світового ринку нанопродуктів за обсягами продажів у 2014 р. (млн дол.) і за темпами зростання у 2009 – 2014 рр. (%)

Сектор ринку нанопродуктів	Обсяг продажів у 2014 р., млн дол. США	Середньорічне зростання у 2009 – 2014 рр., %
Наноматеріали	16 702,9	10,6 (3)
Обробна промисловість та інші застосування	6 396,4	10,1 (4)
Енергетика	6 028,6	9,2 (5)
Медицина і біотехнології	4 642,3	12,1 (2)
Електроніка і ІКТ	1 750,8	26,2 (1)
Усього	35 521,0	

Складено за [125, с. 61].

Вартість реалізованих споживчих товарів з використанням нанопродуктів і (або) нанотехнологій більше продажів первинних нанопродуктів практично у 35 разів і склала 773,5 млрд дол. Такий розрив пояснюється існуючою практикою повного врахування (іноді абсурдного) вартості всього споживчого продукту при визначенні вартості нанопродукту. В результаті загальна фактична ємність світового ринку нанопродуктів у 2009 р. (з урахуванням повної вартості споживчої продукції) досягла величини

у 797,2 млрд дол. Основна частина реалізованих споживчих нанопродуктів представлена в автомобілях, електричних та електронних товарах, продуктах харчування і напоях, у побутовій хімії, фотографії та оптиці.

У *табл. 1.14* наведено рейтинг світового ринку споживчих товарів, вироблених з використанням нанотехнологій, за обсягами продажів у 2014 р. (млрд дол.) та в період 2009 – 2014 рр. (%) [125, с. 63].

Безумовно, практично всі розвинені країни світу підтримують в рамках державних програм розвиток нанотехнологічних досліджень і розробку нанопродуктів.

Таблиця 1.14

Рейтинг секторів світового ринку споживчих товарів, вироблених з використанням нанотехнологій, за обсягами продажів у 2014 р. (млрд дол.) і за темпами зростання в 2009 – 2014 рр. (%)

Сегмент ринку споживчих товарів	2009 р., млрд дол.	2009 р., %	2014 р., млрд дол.	2014 р., %	Середньорічне зростання у 2008 – 2014 рр., %
Легкові автомобілі	667,8	86,3	755,6	81,8	3,2 (7)
Електричні і електронні товари	57,75	7,5	102,45	11,1	12,4 (3)
Продукти харчування і напої	21, 65	2,8	28,4	3,1	6,0 (6)
Побутова хімія	10,17	1,32	14,7	1,6	8,0 (4)
Фотографія і оптика	9,85	1,3	13,7	1,5	7,2 (5)
Тканини і одежа	5,2	0,7	6,85	0,7	6,0 (6)
Засоби особистої гігієни	1,0	0,1	2,3	0,2	17,0 (2)
Спортивні товари	0,01	0,001	0,14	0,01	69,3 (1)
Усього	773,5	100,001	924,1	100,01	4,2
Усього без урахування легкових автомобілів	105,7		168,5		10,1

Складено за [125, с. 63].

Так, «Національна нанотехнологічна ініціатива» у США сьогодні включає 11 цілей і пріоритетів, що постійно переоцінюються; Стратегією

розвитку нанотехнологій у Японії визначено сьогодні 10 пріоритетів; міжгалузева програма «Наноініціатива 2010» у Німеччині має 7 пріоритетів; 6-та і 7-ма Рамкові програми ЄС та Європейська стратегія розвитку нанотехнологій до 2013 р. визначили 3 основних напрями (6-та програма) та ще 3 перспективних напрями створення європейських спільних платформ (7-ма програма) у нанодослідженнях; Федеральна цільова програма «Розвиток інфраструктури наноіндустрії у РФ на 2008 – 2010 рр.» та Стратегія розвитку наноіндустрії в РФ (перший етап – 2007 – 2011 рр.) визначили 8 основних напрямів нанодосліджень в Росії [125].

В Україні також проводяться фундаментальні і прикладні дослідження у сфері нанотехнологій у таких напрямах, як: медицина (зокрема, венерологія), біологія, сільське господарство, екологія, енергетика, промисловість, освоєння космосу, кібернетика, електроніка та інші [33]. В той же час, пріоритети цих досліджень потребують уточнення відповідно до глобальних проблем, які необхідно вирішувати будь-якій країні, в тому числі і з урахуванням національної специфіки прояву цих проблем, а також відповідно до наявного потенціалу і можливостей проведення нанотехнологічних досліджень. Як вже вказувалось, для України енергетична проблема – одна з найболючіших і потребує постійного пошуку найефективніших шляхів вирішення.

У 2003 р. Національна Академія Наук України (НАНУ) започаткувала цільову комплексну програму фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології» (ЦКПФД) за 13-ма (з 2007 р. – за 14-ма) напрямами теоретичного та експериментального вивчення наносистем та з 4-х розділів: «Фізика та діагностика нанорозмірних систем», «Хімія наноматеріалів та наноструктур», «Технології наноматеріалів», «Біонаносистеми» [19; 20], а з 2010 р. почала виконуватись Державна цільова науково-технічна програма «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. (ДЦНТП) у 9-ти найважливіших напрямках нанодосліджень [7; 12].

В табл. В1 Додатку В наведено співставлення основних пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій в цих країнах [125, с. 332 – 333].

Як видно з табл. В 1 Додатку В, напрямки нанодосліджень і відповідних інноваційних рішень у провідних країнах світу практично збігаються. Причому основні дослідження ведуться поки що в напрямках створення і вдосконалення технологічної бази наноіндустрії, що в майбутньому дозволить створити достатній технологічний рівень для вирішення на новому якісному рівні глобальних і національних проблем кожної країни.

1.3. Аналіз досліджень зі створення нанотехнологій і наноматеріалів для промисловості України

Цільова комплексна програма «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» (Комплексна програма) виконувалася у два етапи [88]. Сумарне фінансування першого етапу програми за період 2003–2006 рр. склало близько 33 млн грн. Основні напрямами теоретичного та експериментального вивчення наносистем, а також розподіл кількості виконаних проектів за ними наведено в *табл. 1.15* [19; 40].

Таблиця 1.15

Розподіл кількості виконаних проектів за напрямами наукових досліджень програми «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» за 2003 – 2006 рр.

Напрям наукових досліджень теоретичного та експериментального вивчення наносистем	Питома кількість виконаних проектів,%
1	2
Технологія багатофункціональних матеріалів	15,4
Нанофізика і наноелектроніка	12,0
Діагностика наносистем	11,0
Електронна, атомна будова і властивості наноструктурних матеріалів	10,4
Синтез і формування наноструктур	9,0
Колоїдні нанорозмірні системи	8,6
Фізика напівпровідникових наноструктур	7,4
Біонаноматеріали: синтез та властивості	5,6
Атомно-молекулярна архітектура наноструктур	5,6

Закінчення табл. 1.15

1	2
Фізико-хімія поверхневих явищ, супрамолекулярна хімія	5,1
Фізика і технологія наноматеріалів в екстремальних умовах	4,6
Тонкоплівні нанотехнології з'єднання неорганічних матеріалів	3,3
Інформаційне забезпечення робіт з проблем «Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології»	2,0

Складено за [19; 40].

Проекти в рамках Комплексної програми в період 2003–2006 рр. були закріплені за 37 установами, з яких 96,7 % – установи НАН України, а саме: Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича (11,3 %), Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова (11,3 %), Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського (9,5 %), Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова – 6,3% тощо.

Комплексна програма була продовжена на 2007 – 2009 рр. за 14-ма напрямами у 4-х розділах: «Фізика та діагностика нанорозмірних систем», «Хімія наноматеріалів та наноструктур», «Технології наноматеріалів», «Біонаносистеми» [3; 20].

У виконанні 133 проектів цієї програми брали участь вже 41 установа семи відділень НАН України. Основні найбільш значущі результати виконання Комплексної програми за період 2006 – 2009 рр. представлені в табл. Г.1 Додатку Г [8; 66 – 69].

У виробництво було впроваджено такі технології, як: ультразвукова технологія виготовлення виробів із наномодифікованого вуглепластика; технологія виготовлення магнітопроводів трансформаторів, телекомунікаційних систем, осердь вимірювальних приладів; технологія синтезу кальцієвих гідроксоапатиту і фторапатиту як біонаноматеріалів для медицини; технологія виготовлення радіаційно-стійкого фотоперетворювача на основі структури In_2O-Ga_2O_3-GaSe для виробництва фотоприймачів та фотовипромінювачів; стійкі нанорозмірні дисперсії каолініту як гетероагулянти, сорбенти; установки очищення висококонцентрованих стічних

вод з використанням ультрадисперсних фаз гідрооксидів заліза; технологія виготовлення біоактивних композитів «Синтекістка» для відновлення кісткової тканини після оперативного втручання в хірургії. Установами-лідерами по впровадженню стали: Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, Інститут біоколоїдної хімії ім. Ф. Д. Овчаренка НАН України та Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України – по 16,6 % від усієї кількості установ [8].

В рамках виконання Комплексної програми за період 2007 – 2009 рр. було придбано близько 20 унікальних приладів провідних світових виробників, створено центри колективного користування [104, с. 207].

Виконання цієї Комплексної програми продовжувалось і в 2010 – 2013 рр.

Постановою Бюро Президії НАН України від 31.01.08 р. №23 було затверджено перелік найважливіших напрямів наукових досліджень і розробок, в якому за напрямком наукових досліджень «Наноматеріали і нанотехнології» було визнано за пріоритетні розробки у таких сферах, як: «Наноструктурні матеріали із заданими властивостями, технологічне обладнання»; «Наноелектроніка»; «Нанохімічні та нанобіологічні технології».

З метою подальшого виконання актуальних фундаментальних і прикладних робіт з розвитку наукових досліджень у сфері нанотехнологій НАН України розробила Концепцію цільової комплексної програми фундаментальних досліджень «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» на 2010 – 2014 рр., затверджену постановою Президії НАН України від 05.05.2010 р. №129 [9]. Вказана програма складається з 4-х розділів: «Фізика та діагностика нанорозмірних систем», «Хімія наноматеріалів та наноструктур», «Технології наноматеріалів», «Біонаносистеми» [11].

Найбільш значущі результати виконання вказаної програми за 2010 – 2013 рр. наведені в табл. Д.1 Додатку Д [70 – 73].

Крім того, у 2009 році була затверджена Державна цільова науково-технічна програма «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. відповідно до постанови КМУ від 28.10.09 р. №1231 [7]. Очікуваними результатами виконання програми стануть: розробка нанотехнологій, на-

нобіотехнологій, дослідно-промислових технологій; виготовлення наноматеріалів, вимірювальних приладів, типономіналів; створення біоелементів, біосенсорів, нанофотокаталізаторів; утворення підрозділів, центрів сертифікації; впровадження нанотехнологій. Програмою також припускається створення базових наукових кафедр по спеціальностям: «Нанофізика», «Наноелектроніка», «Нанобіомедицина», «Наноматеріалознавство» в усіх вузах держави [2].

За вказаною програмою у 2010 р. було проведено конкурс науково-технічних проектів, на який надійшло 315 проектів. У зв'язку з тим, що коштів для виконання завдань та заходів цієї програми було виділено значно менше від запланованих, лише 120 проектів було прийнято до фінансування (якого в 2011 р. взагалі не було виділено). В реалізації цієї програми беруть участь наукові колективи 40 установ НАН України.

Найбільш значущі результати виконання вказаної програми за 2012 – 2013 рр. приведені в табл. Д.2. Додатку Д [72; 73].

З метою створення принципово нових хімічних речовин і матеріалів, що базуються на нових екологічно сприятливих енерго- та ресурсозберігаючих технологіях для різних галузей промисловості та соціальної сфери, Розпорядженням Президії НАН України від 04.07.2011 р. № 443 «Про цільову комплексну програму фундаментальних досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми створення нових речовин і матеріалів хімічного виробництва» на 2012 – 2016 рр. було затверджено концепцію вказаної програми [10].

Хімічні виробництва – джерело незамінних речовин і матеріалів практично для всіх галузей економіки: від електроніки, металургії та будівництва до охорони здоров'я та сільського господарства. Без хімічної науки, хімічних процесів і хімічних продуктів не можна уявити існування сучасної промисловості і соціальної сфери.

На сьогоднішній день основу хімічного комплексу України складають великі виробництва (Дніпродзержинськ, Сєвєродонецьк, Калуш, Лисичанськ, Рубіжне, Рівне, Суми та ін.), більшість з яких створено ще в 60-ті роки минулого сторіччя в межах програми «Велика хімія», орієнтовані на

випуск досить вузької номенклатури багатотоннажної продукції, причому їх гігантська потужність була спроектована на задоволення потреб не лише України, а й всього СРСР. На жаль, всі вони є надзвичайно енергоємними і базуються на використанні сировинних і енергетичних ресурсів, перш за все природного газу, який Україна вимушена закуповувати, часто за невигідних умов, за кордоном. На багатьох таких підприємствах природний газ використовується не тільки як енергоносій, але й як основна вихідна сировина (виробництво аміаку, азотної кислоти, карбаміду, амофосу, метанолу тощо), причому витратні об'єми газу на сировинні потреби незрівнянно перевищують енергетичні, що ставить існуючу хімічну промисловість України в повну залежність від імпортних поставок природного газу. Для хімічної промисловості вплив зростання цін на природний газ має вирішальне значення, оскільки частка газу в собівартості продукції сягає 70 %. Враховуючи те, що внутрішня ціна природного газу в Росії значно нижча, ніж в Україні, конкурентна спроможність продукції вказаних українських підприємств з кожним роком стрімко знижується, і ця тенденція буде зберігатися і в подальшому. Про це може свідчити практично повна зупинка багатьох великотоннажних підприємств хімічної промисловості в умовах економічної кризи, яка мала місце в Україні. Не менш негативним є і те, що такі виробництва внаслідок недосконалості багатьох застарілих технологій, що використовуються, надмірної концентрації надвеликих масштабів випуску продукції в умовах, що склалися, та інших недоліків завдають непоправної шкоди навколишньому середовищу.

В той же час, як показує досвід високорозвинених західних країн, стає все більш очевидною та обставина, що «велика хімія», завдяки своїй спрямованості й специфічності (величезні об'єми випуску обмеженої номенклатури речовин і матеріалів, великі енергетичні та капітальні витрати, нездатність до швидкої перебудови виробництва, екологічна небезпека тощо), нині не має змоги належним чином забезпечити зростаючі темпи науково-технічного прогресу в різних галузях промисловості, особливо в новостворюваних, інноваційні шляхи їх розвитку.

Як відомо, численні яскраві науково-технічні проекти часто не реалізуються через відсутність або недостатній рівень розвитку сучасного хіміч-

ного (молекулярного) матеріалознавства, швидкого створення та освоєння випуску необхідних нових видів речовин та матеріалів з комплексом цінних функціональних властивостей. Як правило, багато з таких матеріалів відносяться до малотоннажних хімічних продуктів, а їх створення є високонаукоємним, потребує сучасних гнучких виробництв, які здатні до швидкої перебудови. Тому не викликає подиву те, що в останнє десятиріччя провідні зарубіжні країни у стратегії хімічних виробництв зробили акцент на пріоритетний розвиток малотоннажного хімічного виробництва речовин і матеріалів, котре, окрім високої рентабельності та інноваційної привабливості, здатне до швидшого освоєння найновіших технологій. Цим пояснюється неухильна тенденція в США, Японії, Німеччині та інших країнах до згортання багатьох великотоннажних хімічних виробництв і винесення їх за свої межі до слабкорозвинених країн. Фактично за останні два десятиріччя малотоннажна хімія перетворилась на індустріальний стратегічний напрям, приріст обсягів виробництва в якому сягає 75 млрд доларів США. До 2015 р. прогнозується створення глобального ринку малотоннажних хімічних технологій обсягом 900 – 4100 млрд євро.

Особливо скрутне становище в галузі малотоннажного хімічного виробництва через багаторічне недалекоглядне ігнорування цієї проблеми склалося в Україні. Недостатня кількість або повна відсутність багатьох речовин та матеріалів малотоннажної хімії для автомобільної, авіа-, оборонної, електронної промисловості, приладобудування, препаратів для медицини, ветеринарії та сільського господарства, харчової промисловості, хімікатів для поліграфії, контролю за станом навколишнього середовища, реактивів для наукових досліджень, товарів побутової хімії тощо значною мірою паралізували розвиток багатьох галузей економіки і примусили споживача закуповувати цю продукцію або матеріали для її виготовлення (часто за невигідних умов) за кордоном. Стан справ ще більше погіршується й тим, що навіть та невелика частка наявних в Україні малотоннажних хімічних виробництв базується на застарілих технологіях, є енергоємними і екологічно небезпечними, що потребує невідкладного вирішення пов'язаних з цим наукових і технічних проблем.

Не кращим чином складається ситуація і в галузі наукових досліджень, розробки та налагодження випуску принципово нових речовин і матеріалів

малотоннажної хімії, здатних забезпечити створення новітніх видів техніки і технологій, що пов'язано, перш за все, з недостатнім об'ємом фінансування перспективних фундаментальних робіт з цього напряму.

Про те, що речовини і матеріали хімічного виробництва є базовим напрямом, що визначає прогрес в більшості галузей економіки, свідчить пріоритетне фінансування державою науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) саме з цього напряму у високорозвинених країнах. Як приклад, в Японії з коштів, витрачених державою на НДДКР в останні роки за всіма напрямами, 60 % фінансування припадає на розробку нових речовин і матеріалів хімічного виробництва. У світі сотні наукових фондів і компаній щороку витрачають понад 40 млрд дол. на фундаментальні дослідження та створення технологій малотоннажних хімічних речовин і матеріалів. Щонайменше 30 країн мають національні або регіональні науково-технічні програми в цій галузі. Ігнорування необхідного пріоритетного фінансового забезпечення науково-технічних робіт зі створення малотоннажних речовин та матеріалів хімічного виробництва в останні роки в Україні призвело до того, що доля фінансування НДДКР стала в сотні, а в деяких напрямах хімії навіть в тисячі разів меншою, ніж в розвинених країнах, що вже негативно позначилось на стані різних галузей економіки. Така політика є недалекоглядною і хибною в сучасних умовах розвитку України.

Очевидний вихід із вкрай важкого становища, що склалося, полягає у тому, що в процесі структурної перебудови економіки України необхідне створення власної високорентабельної і екологобезпечної галузі малотоннажного хімічного виробництва, що базується на передових технологіях і зорієнтована на випуск широкого асортименту полігамної продукції, здатної забезпечити кардинальний прогрес у функціонуванні й розвитку різних галузей промисловості. З іншого боку, оскільки багато нових речовин і матеріалів малотоннажного виробництва належать до сучасної наукоємної продукції, якій притаманна висока конкурентоспроможність на міжнародному ринку, вони здатні значною мірою розширити та підвищити експортний потенціал України.

Перші кроки з вирішення цієї гострої проблеми були зроблені з ініціативи НАН України ще в 1993 р., коли була створена державна багатогалузева науково-технічна програма «Нові хімічні речовини і матеріали малотоннажного виробництва для заміни імпортованих» (розпорядження КМ України від 27.10.93 р. № 899-р та від 17.03.1998 р. № 168-р). У її виконанні брали участь більше 40 наукових установ і організацій НАН України, Міністерства освіти і науки України, Міністерства промислової політики та ін., а також понад 50 промислових підприємств, на яких проводилась апробація ряду розробок за проектами програм. На жаль, в 2001 р. виконання робіт з цього напряму було припинено через відсутність фінансування, незважаючи на численні звернення Мінпрому України і Національної академії наук України про хибність прийняття такого рішення, що призвело до непоправної 10-річної втрати часу в модернізації та перебудові хімічної сфери економіки України. В той же час більшість європейських науково-технічних програм в останні роки спрямовано саме на створення нових речовин і матеріалів.

В НАН України є потужний науковий потенціал з проведення фундаментальних досліджень світового рівня, зі створення новітніх хімічних речовин і матеріалів з комплексом різноманітних функціональних властивостей для застосування в різних галузях промисловості та соціальної сфери, що зосереджений перш за все в інститутах Відділення хімії, а також в інших відділеннях наук НАН України. Координація фундаментальних досліджень з цього пріоритетного напряму є одним з важливих завдань цієї цільової програми. Фундаментальні дослідження в галузі створення нових речовин і матеріалів хімічного виробництва сприятимуть також розвитку інших важливих напрямів – фізики, матеріалознавства, біології, медицини тощо.

Метою вказаної програми є розробка фундаментальних основ створення принципово нових хімічних речовин і матеріалів, що базуються на нових екологічно сприятливих енерго- та ресурсозберігаючих технологіях для різних галузей промисловості та соціальної сфери, зокрема: електроніки, приладобудування, машинобудування, енергетики, транспорту, легкої та харчової промисловості, поліграфії, побутової хімії, агропромислового комплексу, медицини, біотехнології тощо. Розробка таких речовин і мате-

ріалів буде сприяти структурній перебудові хімічного комплексу України з метою випуску конкурентоспроможної хімічної продукції, ліквідації залежності вітчизняних виробників від імпорту наукоємної хімічної продукції, організації виробництва широкої гами хімічних продуктів, реактивів, препаратів, домішок та виробів, які можуть швидко змінювати номенклатуру та якість продукції в залежності від потреб замовника, підвищенню експортного потенціалу України тощо.

Важливим завданням програми є забезпечення координації та розширення фундаментальних досліджень в різних інститутах НАН України зі створення принципово нових речовин і матеріалів хімічного виробництва, опрацювання екологобезпечних, енерго- та ресурсозберігаючих способів їх одержання, а також сприяння концентрації зусиль на найбільш перспективних інноваційних розробках.

Основними завданнями програми є такі:

1. За науковим напрямом «Нові органічні речовини і матеріали та композити на їх основі для техніки нового покоління» планується розробка фундаментальних основ зі створення: новітніх органічних речовин, матеріалів та композитів на їх основі для мікроелектроніки, електротехніки, приладобудування, авіа- та космічної техніки, автомобілебудування, транспорту, легкої промисловості, поліграфії тощо; електропровідних, фотопровідних, люмінесцентних та фотохромних матеріалів; матеріалів для чутливих елементів сенсорів; світлоперетворювальних матеріалів; нових високоенергоємних електродних матеріалів для хімічних джерел струму; органічних матеріалів, що поглинають електромагнітне, радіо-, НВЧ-, теплове та інші види випромінювання, барвників для літографії, кольорового друку, текстильної промисловості, маркери та аналітичні реагенти для медико-біологічних досліджень; нові присадки до мастил і пального, інгібітори корозії широкого призначення тощо.
2. За науковим напрямом «Нові неорганічні матеріали для сучасної техніки» планується розробка наукових основ створення: принципово нових неорганічних хімічних речовин і матеріалів з екстре-

мальними електропровідними, оптичними, теплопровідними, фото- та електрохромними, люмінісцентними, електролюмінісцентними та іншими цінними експлуатаційними характеристиками для різних видів новітньої техніки; неорганічних матеріалів для сучасних критичних технологій; нового покоління каталізаторів, сорбентів та носіїв різного призначення; хімічних реактивів для наукових та діагностичних досліджень тощо.

3. За науковим напрямом «Нові полімерні матеріали різного функціонального призначення» планується виконати цілеспрямовані фундаментальні дослідження зі створення принципово нових полімерних матеріалів на основі реакційноздатних олігомерів, в'яжучих нового органо-неорганічного покоління, гібридних полімерних матриць, композиційних матеріалів з екстремальними властивостями (здатність працювати у високотемпературних та кріогенних умовах тощо); біодеструктивних полімерів; нових універсальних в'яжучих з високою адгезією та життєздатністю для одержання скло-, органо-, вуглепластиків; нових полімерних фоточутливих композицій, покрить для поліграфії; антифрикційних, вібро- і звукопоглинальних матеріалів; клеїв широкого технічного, медичного та побутового призначення, лаків нового покоління; термо- та світлостабілізаторів, прискорювачів вулканізації тощо.
4. За науковим напрямом «Нові речовини і матеріали для потреб медицини та агропромислового комплексу» планується розвиток наукових основ одержання: хімічних і біологічних субстанцій нового покоління для лікарських засобів різного медичного призначення; екологічно і фізіологічно сприйнятливих хімікатів для рослинництва та харчової промисловості; ветеринарних засобів для тваринництва тощо.
5. За науковим напрямом «Створення нових енерго-, ресурсозберігаючих та екологічно сприйнятливих способів одержання малотоннажних речовин та матеріалів хімічного виробництва» планується розробка фундаментальних основ створення нових методів одержання речовин і матеріалів, що базуються на різних фізичних методах активації хімічних процесів (механохімічних, сонохімічних,

мікрохвильових, електрохімічних тощо), а також на принципах «зеленої хімії»: використання нетрадиційних екологічно безпечних середовищ – суперкритичні рідини (CO_2, H_2O тощо) та їх суміші з нетоксичними органічними розчинниками, низькотемпературні іонні рідини; каскадні процеси (багатостадійні синтези в «одній посудині»), заміна традиційних окислювачів та відновників та інших реагентів на більш безпечні, переведення існуючих процесів одержання комерційно важливих продуктів із стехіометричного режиму в каталітичний тощо.

Найбільш значущі результати виконання вказаної програми за 2012 – 2013 рр. приведені в табл. Д.3 Додатку Д [72; 73].

В результаті виконання програми будуть опрацьовані наукові основи створення низки малотоннажних хімічних виробництв, які є найбільш важливими для економічної та соціальної сфери України. Як наслідок, будуть забезпечені передумови для вирішення низки принципово важливих проблем, а саме: структурна перебудова хімічної сфери економіки України на випуск конкурентоспроможної наукоємної продукції з невеликими інвестиційними та капітальними витратами із залученням підприємств малого та середнього бізнесу, чисельних дослідно-експериментальних виробництв, в тому числі й НАН України, галузевих інститутів, промислових підприємств, значного розширення таких виробництв; зменшення залежності вітчизняних хімічних виробництв від зарубіжних поставок природного газу як основної сировини, імпорту дорогої наукоємної хімічної продукції та напівпродуктів, значне покращення імпортно-експортного сальдо України; не менш важливим є і те, що багато з малотоннажних хімічних виробництв як сировину можуть використовувати різні продукти перегонки, що утворюються при коксуванні вітчизняного кам'яного вугілля, а також відновлюваної рослинної сировини; створення практично «чистих» в екологічному відношенні виробництв, які повністю перероблятимуть на своїх технологічних циклах вторинні відходи основного виробництва; виробництво широкої номенклатури експортоспроможних та високоефективних хімічних продуктів та виробів, які мають постійний та зростаючий комерційний попит на світовому ринку.

Розділ 2
СУЧАСНІ ЗАСОБИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ В КРАЇНАХ СВІТУ І УКРАЇНІ

2.1. Критичний огляд сучасних засобів технологічного прогнозування

Прогнозування розвитку технічних систем має здійснюватися на всіх етапах життєвого циклу від зародження ідеї, проектування, виготовлення, експлуатації і до утилізації. Основним інструментом дослідження внутрішніх закономірностей і тенденцій у розвитку є науково-технічні прогнози. Залежно від того, яке завдання вирішується в першу чергу, розрізняють два види прогнозування: дослідницьке (або пошукове) і нормативне. Формування прогнозу об'єктивно існуючих тенденцій розвитку на основі аналізу історичних тенденцій зветься дослідницьким або пошуковим прогнозуванням [149]. Цей вид прогнозування заснований на використанні принципу інерційності розвитку, при якому орієнтація прогнозу в часі відбувається по схемі «від теперішнього – до майбутнього». Прогнозування тенденцій розвитку об'єкта прогнозу, які повинні забезпечувати досягнення у встановлений момент майбутнього певних соціально-політичних, економічних або оборонних цілей, називається нормативним. У цьому випадку орієнтація прогнозу в часі відбувається по схемі «від майбутнього – до сьогодення».

Різний ступінь невизначеності інформації про майбутнє впливає на характер методів, способів і прийомів, які застосовуються в процесі прогнозування. Під методом прогнозування розуміють спосіб теоретичної і практичної дії, спрямованої на розробку прогнозів [50; 149]. Виділяють два типи методів прогнозування:

- кількісні, засновані на екстраполяції вже відомих тенденцій і моделей;
- якісні, що складаються на основі оцінок експертів і дають уявлення про можливі принципові зміни в прогнозованої системі.

Перевага якісних прогнозів полягає у можливості передбачити принципово важливі повороти в прогнозованій системі. Однак при цьому найчастіше прогнози будуються на основі суб'єктивного досвіду експертів, що значно знижує прогностичну цінність цих досліджень. Найбільш поширені методи науково-технічного прогнозування відображено на *рис. 2.1.*

Для моделювання процесів науково-технічного розвитку особливо часто використовуються методи статистичного аналізу [59]. За ступенем комплексності статистичні дослідження можна розділити на двовимірні і багатовимірні. Перші стосуються розгляду парних взаємозв'язків між змінними (парні кореляції й регресії), вони спрямовані у прогнозних дослідженнях на рішення таких задач, як встановлення кількісної міри тісноти зв'язку між двома випадковими величинами; оцінку достовірності та точності прогнозів, отриманих екстраполяцією регресійної залежності. Багатовимірні методи статистичного аналізу призначені в основному для вирішення задачі системного аналізу багатовимірних стохастичних об'єктів прогнозування. Метою такого аналізу є, як правило, визначення внутрішніх взаємозв'язків між змінними, побудова багатовимірних функцій зв'язку змінних, виділення мінімального числа характеристик, що описують об'єкт із достатнім ступенем точності. Однією з основних задач є скорочення розмірності опису об'єкта прогнозування.

Таким чином, статистичні методи використовуються в основному для підготовки даних, приведення їх до вигляду, придатного для здійснення прогнозу. Як правило, після їх застосування використовується один з методів екстраполяції або інтерполяції для отримання безпосередньо прогнозного результату. Перевагою методу екстраполяції є вивченість використовуваних моделей, можливість кількісних оцінок. Однак при цьому прогноз може виявитися помилковим через принципові, якісні зміни, які неможливо було передбачити заздалегідь. Екстраполяція – це «метод наукового прогнозування, що складається в поширенні висновків, одержаних із спостереження над однією частиною явища, на іншу його частину» [79].

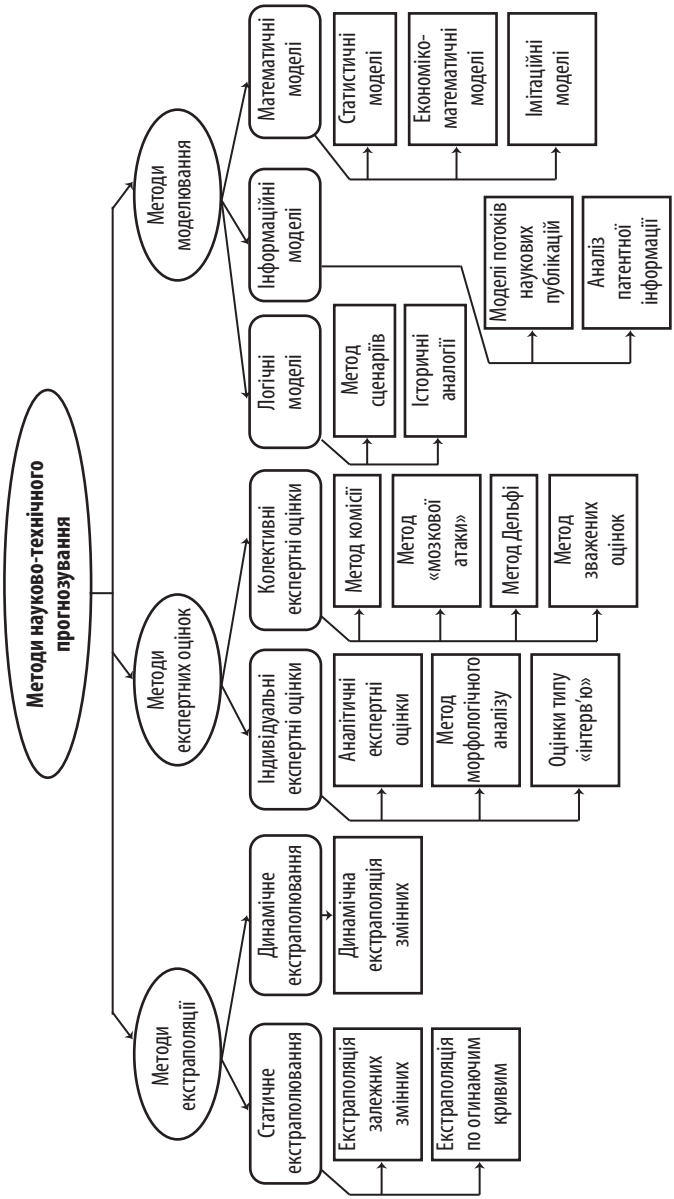

Рис. 2.1. Методи науково-технічного прогнозування [50; 149]

У разі використання методів екстраполяції в науково-технічному прогнозуванні необхідно враховувати фактори суспільного попиту на нові науково-технічні розробки, оцінки впливу на розвиток прогнозованого об'єкта політики цін і специфічних у різних країнах соціально-економічних і виробничих умов. Застосування результатів екстраполяції обмежено регіоном збору статистичних даних.

Методом екстраполяції прогнозувалися зростання обсягів науково-технічної інформації, розміри коштів, що вкладаються в науку, та інші питання. Отримані при цьому конкретні оцінки логічних меж зростання тих чи інших характеристик, а також значення розривів між взаємообумовленими показниками послужили підставою для прийняття довгострокових рішень щодо майбутньої наукової політики. Загалом, метод екстраполяції відноситься скоріше до короткострокових прогнозів, припускає використання в подальшому інших методів і комплексного підходу.

Таким чином, маючи в своєму розпорядженні точні дані навіть за сто років, ми далеко не завжди можемо екстраполювати розвиток на кілька років вперед: крива іноді несподівано йде вгору, іноді настільки ж несподівано йде вниз, тому метод екстраполяції відноситься скоріше до короткострокових прогнозів і припускає використання в подальшому інших методів чи комплексного підходу.

Одним з найбільш перспективних підходів до розробки прогнозів вважається моделювання процесів розвитку, тобто визначення перспектив на основі адекватних моделей розвитку [142]. За характером задіяних моделей розрізняють логічні, інформаційні та математичні моделі прогнозування. Логічне моделювання включає ретельне вивчення внутрішньої логіки розвитку прогнозованого об'єкта і розробку на цій основі відповідних історичних моделей-зразків. Історичні аналогії використовуються потім при вирішенні конкретних ситуацій і завдань розвитку прогнозованого об'єкта. Математичні моделі прогнозування являють собою найбільш універсальні методи аналізу тенденцій розвитку техніки. Вони надають змогу створити кількісний опис динаміки розвитку реальних об'єктів прогнозування, вивчити характер і напрями впливу на їх зміну різних чинників.

Також використовуються методи науково-технічного прогнозування, засновані на аналізі інформаційних масивів, що містяться в заявках на винаходи і виданих патентних документах. Окремі підходи передбачають комплексну оцінку інженерно-технічної значущості та економічної доцільності використання аналізованих патентів та визначення перспективності різних технічних рішень. У багатьох країнах світу використання патентної інформації визначає технічну політику фірм і об'єднань.

Методи експертних оцінок в науково-технічному прогнозуванні застосовуються у таких випадках: коли відсутні статистичні дані по об'єкту прогнозування; в умовах великої невизначеності середовища функціонування об'єкта; при середньо- і довгостроковому прогнозуванні об'єктів нових галузей промисловості, що знаходяться під впливом нових відкриттів у фундаментальних науках. Ступінь достовірності експертизи встановлюється по абсолютній частоті, з якою оцінка експерта зрештою підтверджується наступними подіями.

Залежно від форми роботи з експертами, розрізняють індивідуальні та колективні методи експертизи. Індивідуальні методи експертизи передбачають персональну роботу з кожним експертом та отримання приватної, попередньої, не погодженої з іншими думки експерта. Форма отримання експертних оцінок може бути різною. Найчастіше експертів опитують заочно, шляхом завчасного пересилання їм підготовлених анкет (аналітичні експертні оцінки). Зміст різноманітних методів колективних експертних оцінок зводиться, головним чином, до того, щоб використовувати всі переваги групової експертизи, звівши до мінімуму її недоліки. Здійснюється це, насамперед, шляхом створення умов, що сприяють формуванню об'єктивних оцінок.

Методи експертних оцінок як спосіб отримання прогнозів мають певні недоліки:

- частина фахівців експертної групи, або навіть один найбільш активний член групи, можуть чинити тиск на всіх членів, і, якщо така думка помилкова, може бути отриманий неправильний прогноз;
- в окремих випадках на рішення членів експертної групи може справити негативний вплив не глибина доводів, а кількість зауважень «за» чи «проти»;

- проблема досягнення угоди між членами експертної групи буде мати більш важливе значення, ніж ретельно розроблений прогноз.

2.2. Сутність технології форсайт як інструмента передбачення розвитку науково-технічного прогресу

Поняття «форсайт» виникло в 1950-ті роки в американській корпорації Rand, де вирішувалися задачі визначення перспективних військових технологій. Зіткнувшись з недостатністю традиційних прогностичних методів (кількісні моделі, екстраполяція існуючих тенденцій і т. п.), фахівці Rand розробили метод Дельфі [97], який став основою багатьох форсайт-досліджень. З 1970-х років технологічні форсайти стали проводитися на національному рівні.

Під форсайтом розуміють процес систематичного визначення нових стратегічних наукових напрямів і технологічних досягнень, які в довгостроковій перспективі зможуть мати серйозний вплив на економічний і соціальний розвиток країни [143; 184]. Форсайт досяг свого розквіту як метод аналізу в середині 90-х рр. в рамках національних програм технологічного прогнозування, які й досі залишаються основною сферою застосування форсайтів. Найбільшого поширення форсайт-дослідження набули в країнах з розвиненою культурою кооперації. Така кооперація передбачає співпрацю всередині національної інноваційної системи з підтримкою з боку уряду і являє собою процес загальнонаціонального відбору нових напрямів, в ході якого досягається консенсус думок різних суб'єктів національної інноваційної системи. Форсайт містить такі ключові ознаки:

- форсайт є систематичним процесом;
- науково-технічні напрями посідають центральне місце в цьому процесі;
- пріоритети розглядаються з точки зору їх впливу на соціально-економічний розвиток країни.

Форсайт-дослідження дозволять зібрати необхідну для прийняття рішень інформацію про стан та напрямки НДДКР, що мають бути про-

фінансовані державою; створити нову культуру взаємодії між вченими та бізнесом; визначити ресурси, необхідні для досягнення поставлених завдань. Використання форсайта вимагає значних ресурсів, оскільки в процесі відкритого обговорення і консультацій залучаються широкі верстви наукової, ділової громадськості, центральної і регіональної адміністрації. Фінансування конкретних проектів здійснюється залежно від того, хто є ініціатором програми, з бюджетних і позабюджетних джерел, включаючи кошти приватної промисловості, регіональних адміністрацій та ін.

Для управління та реалізації програми форсайт-досліджень створюються керуючий (головний) комітет, експертний комітет, робочі підгрупи, а також структури, що займаються поширенням результатів. Секції експертного комітету можуть формуватися як за міжгалузевим, так і за міждисциплінарним принципом, до його складу входять представники наукової спільноти, ділових кіл, урядової адміністрації. Форсайт-дослідження зазвичай мають значну інформаційну підтримку – вони супроводжуються значною кількістю конференцій, семінарів, презентацій та інтернет-форумів, у ході яких створюються мережі з обміну інформацією.

Таким чином, форсайт використовується як системний інструмент формування майбутнього, що дозволяє враховувати зміни в усіх сферах суспільного життя: науці і технологіях, економіці, соціальних, суспільних відносинах та культурі.

Для виявлення відмінностей форсайта від традиційного технологічного прогнозування, розглянемо їх характерні особливості (*табл. 2.1*).

Аналізуючи дані табл. 2.1, можна стверджувати, що форсайт являє собою значно більш комплексний підхід, ніж традиційне технологічне прогнозування, тому що в рамках форсайта йдеться про оцінку можливих перспектив інноваційного розвитку, пов'язаних із прогресом науки і технологій, окреслюються можливі технологічні горизонти, які можуть бути досягнуті при інвестуванні певних засобів і організації систематичної роботи, а також ймовірні ефекти для економіки і суспільства. Крім того, комунікативні технології форсайта є одним з ефективних інструментів формування громадської думки і позиції професійних співтовариств – дозволя-

ють спрямовувати і фокусувати діяльність залучених до процесу компаній, організацій та широких груп людей в єдине русло, і, відповідно, впливати на постановку цілей і задач, обумовлених уявленням про можливі шляхи розвитку віддаленого майбутнього.

Таблиця 2.1

Характерні риси форсайта та технологічного прогнозування

№ з/п	Найменування ознаки	Технологічне прогнозування	Форсайт
1	2	3	4
1	Сутність	Спеціальне наукове дослідження, спрямоване на виявлення перспективи розвитку явища або процесу, тобто певними методами обробити наявну інформацію про об'єкт прогнозування і отримати уявлення про напрями його еволюції на основі аналізу тенденцій його розвитку	Процес систематичного визначення нових стратегічних наукових напрямків і технологічних досягнень, які в довгостроковій перспективі зможуть мати серйозний вплив на економічний і соціальний розвиток об'єкта форсайта
2	Мета	Визначення майбутніх станів об'єкта прогнозування – пролонгацію тенденцій, виділених на основі аналізу станів об'єкта в минулому і на сьогодні	На основі наукових розробок і технологій вловлювати тенденції майбутнього світу і створювати різні його варіанти, тобто вказує, в якому напряму слід розвиватися країні або підприємству
3	Задачі	‣ визначення можливих цілей і пріоритетних напрямів розвитку прогнозованого об'єкта; ‣ оцінка соціальних і економічних наслідків реалізації кожного з можливих варіантів розвитку прогнозованих об'єктів; ‣ визначення заходів, необхідних для забезпечення можливих варіантів розвитку прогнозованих об'єктів; ‣ оцінка ресурсів, необхідних для здійснення намічених програм заходів	‣ визначення перспективних технологій та ринків на довгострокову перспективу; ‣ визначення напрямів співпраці бізнес – держава у справі створення конкурентоспроможних інновацій; ‣ визначення заходів, які дозволять використовувати нові можливості в цілях підвищення якості життя, прискорення економічного зростання і збереження конкурентоспроможності

Закінчення табл. 2.1

1	2	3	4
4	Методи	‣ фактографічні методи; ‣ експертні методи; ‣ комбіновані методи	Експертні методи
5	Результат	Різні види прогнозів	‣ звіт про виконання форсайта (сценарії, програма дій, список пріоритетів і т. п.); ‣ створення інформаційної мережі (встановлення зв'язків між учасниками, які зайняті в різних сферах інноваційних розробок)
6	Учасники	Вчені	Вчені, представники органів управління, бізнесу і громадськості (влада, виробники і споживачі товарів та послуг)

Складено за [143; 184].

Отже, форсайт пов'язаний не з прогнозуванням майбутнього, а, більшою мірою, з його формуванням і є специфічним інструментом управління науково-технологічним розвитком, що спирається на створювану в його рамках інфраструктуру.

2.3. Організація форсайт-досліджень у країнах світу і Україні

Історично форсайт спочатку використовувався у Сполучених Штатах і Японії для аналізу тенденцій розвитку економіки. Наприкінці 50-х років роботи з технологічного прогнозування проводилися в оборонному секторі США, зокрема, у корпорації Rand, яка відповідала за розвиток принципових інструментів технологічного прогнозування [43; 150], таких як опитування за анкетами Дельфі [97] і сценарний аналіз. У 60-ті роки великомасштабні роботи з прогнозування проводилися Військово-морським і Військово-повітряним відомствами США. З 1980-х років форсайт вже став застосовуватися в Європейських країнах.

2.3.1 Організація форсайт-прогнозування в Японії

В Японії на цей час накопичено великий досвід не тільки підготовки прогнозів, але й ефективного використання їх результатів при формуванні національної політики у галузі науки і технологій, вибору її пріоритетів та обліку їх впливу на інші сфери життєдіяльності суспільства. У 1970 році Агентство з науки і техніки в Японії [170] зробило першу спробу довгострокового прогнозування майбутнього (на 30 років) науки і технології. Метою було створення холістичного огляду всієї науки і технологій. Кілька тисяч експертів, що представляють промисловість, університети та урядові організації були опитані (з використанням анкет Дельфі) про можливі інновації або технологічні розробки, їх важливості та ймовірні обмеження для їх реалізації. Для вироблення рішень Ради з науки і технології Японії про майбутню державну політику в галузі науки і технології результати цих опитувань використовувалися у двох основних напрямках:

- збору основних даних для планування досліджень і розвитку, зокрема огляду довгострокових технологічних тенденцій і визначення технологій;
- моніторингу поточного стану науки і технологій, включаючи рівень науково-технічної діяльності в Японії у порівнянні з іншими країнами, виявляючи області, де має місце необхідність у міжнародному співробітництві і визначаючи фактори, що стримують технологічний розвиток.

Починаючи з 1971 року результати форсайту визначають прогноз розвитку науки і технологій у країні на найближчі 30 років [174], при цьому результати «коригуються» кожні 5 років. Розробка прогнозу складається з двох етапів. Спочатку, ґрунтуючись на аналізі тенденцій у світовій науці і техніці, японські фахівці складають перелік найбільш вагомих інноваційних досягнень, які в доступному для огляду майбутньому очікуються в різних наукових і технічних галузях. До таких досягнень вони відносять: з'ясування механізму маловивчених явищ, розробку нових технічних об'єктів або технологічних процесів, початок практичного використання нових методів або технологій, поширення тих чи інших інновацій. В остан-

ніх двох прогнозах (сьомому і восьмому) представлена більш широка тематика, що включає також питання організації, управління та соціальної інфраструктури [186; 187]. Як правило, перелік включає до себе близько 1000 конкретних тематичних позицій. Далі до роботи підключають експертів, які в спеціально підготовлених анкетах вказують на значимість прогнозованих досягнень для японського суспільства, відображають свою думку щодо проблем, пов'язаних з їх практичною реалізацією, прогнозують її терміни. Таким чином, основні етапи японського форсайту полягають у такому:

- проведення аналізу тенденцій у світовій науці і техніці;
- складання списку перспективних «тем» економічного, науково-технічного і соціального розвитку;
- опитування експертів за методом Дельфі;
- ранжування обраних тем за ступенем їх інноваційної значущості;
- складання переліку національних науково-технічних пріоритетів і критичних технологій.

У 2005 році Національний інститут науково-технічної політики (NISTEP) [179] опублікував результати роботи над черговим, восьмим, прогнозом – на період до 2035 року [187]. Експертам було запропоновано проаналізувати 858 конкретних тем, розподілених по 13 тематичним розділам. У прогнозі було чітко виділено 130 конкретних інноваційних напрямів, для кожного з яких було складено ретельний опис, що розкриває як його зміст, так і соціально-економічну значимість. У науково-методичній та організаційній роботі брало участь 170 фахівців, а число експертів, які були задіяні у другому турі опитування склало 2239 осіб.

У 2010 році у Японії пройшло останнє на цей час 9-те форсайт-дослідження [179], у якому використовували комбінацію таких методів:

- Дельфі-опитування за темами, вилученими за допомогою міждисциплінарних дискусій, спрямованих на бачення майбутнього суспільства;
- написання сценаріїв – потенційні шляхи досягнення бажаного майбутнього;

- обговорення можливих підходів до реалізації стабільних регіональних товариств.

У цьому форсайт-проекті брали участь 2900 японських експертів з кожної області дослідження, що надали своє передбачення на 30 років у майбутнє за 832 науково-технічними темами. Головні результати цих оглядів включають бачення майбутнього суспільства, підкріпленого розвитком науки і техніки, його областями ключової важливості для вирішення глобальних та національних проблем, потенційних шляхів до реалізації цього майбутнього.

Результати обстеження були використані для розробки четвертого Основного плану по науці і техніці, який було розпочато у 2012 році. Останнє 9-е науково-технічне форсайт-дослідження було зосереджено на обговореннях, які сприяють вирішенню глобальних та національних проблем з чітким уявленням до майбутнього. Враховуючи поточні світові тенденції та реалії в Японії, опитування звужувало певний план дій для науки і техніки у наступних чотирьох завданнях:

- бути одним зі світових лідерів у науці і техніці;
- прагнути до стійкого зростання через зелені інновації;
- виробити успішну модель здорового старіючого суспільства;
- створити безпечне життя для громадян.

Основні результати цього форсайт-дослідження полягають у наступному:

- бачення майбутнього суспільства, що спирається на еволюцію науки і техніки;
- схема потенційних шляхів до реалізації бачення майбутнього;
- майбутні бачення, виражені місцевим населенням та молоддю;
- області ключовий важливості в науці і техніці для вирішення глобальних та національних проблем;
- короткий виклад думок зазвичай виражається групами експертів,за результатами опитування Дельфі;

- резюме думок, які зазвичай виражаються експертними групами за результатами Дельфі-опитування.

У рамках 9-го форсайт-дослідження було встановлено 12 міждисциплінарних технологічних підкомітетів, які складаються з 135 експертів з університетів, промисловості та науково-дослідних інститутів. Крім того, чотири широких групи були встановлені для обговорення безпеки, забезпеченості, міжнародного співробітництва та міжнародного змагання. В рамках цих чотирьох груп були проведені міждисциплінарні дискусії за участю членів гуманітарних і соціальних наук (*табл. 2.2*).

Таблиця 2.2

Міждисциплінарні групи 9-го форсайт-дослідження в Японії

№ гр.	Міждисциплінарна група	Кількість тем
1	Використання електроніки, зв'язку та нанотехнології у повсякденному суспільстві	70
2	Інформаційні технології, у тому числі засоби масової інформації	76
3	Біотехнології і нанотехнології для блага людства	58
4	Медична для здорового способу життя людей в країні	85
5	Розуміння динаміки простору, землі і життя, науки і технології, розширити область людської діяльності	64
6	Просування різноманітної енергії у технологічні інновації	72
7	Необхідні ресурси, включаючи воду, продовольство, мінерали	59
8	Технології для захисту навколишнього середовища і формування сталого суспільства	68
9	Основні технології, в тому числі речовини, матеріали, наносистеми, обробка, вимірювання і т. ін.	84
10	Виробничі технології, які повністю підтримують розвиток промисловості, суспільства, науки і технології	76
11	Зміцнення управління з вимогами розвитку науки і техніки	58
12	Технології інфраструктури, що забезпечують життя і виробництво	62

Складено за [179].

Ці підкомітети та групи, створені з 832 тем. Дванадцять міждисциплінарних груп, що складаються з 135 експертів, проводили обговорення, щоб остаточно сформувати теми (описують майбутню науку, технології та соціальну систему) та області (група взаємопов'язаних тем) для Дельфі-опитування.

Респонденти були розділені в залежності від віку та роду занять. 38 % респондентів у віці 50-ти років, 25 % були у віці від 40 років і 24 % у віці 60 років. Університетські дослідники склали 47 % респондентів, галузевих дослідників – 29 % і дослідників з науково-дослідних інститутів 15 %.

За результатами 9-го форсайт-дослідження в Японії (*табл. 2.3*) ключове значення для вирішення глобальних / національних проблеми мають предмети, які прямо або побічно пов'язані з енергетикою, ресурсами і навколишнім середовищем. У галузі охорони здоров'я основну увагу приділено профілактичній медицині. Інші елементи, яким приділено увагу, включені до таких тем, як управління і розвиток людських ресурсів та фундаментальні технології.

Таблиця 2.3

Предмети, які мають ключове значення для розв'язання глобальних та національних проблем у галузі за підсумками 9-го форсайту

Група	Ключовий пункт
1	2
Енергія, ресурси і довкілля	Пов'язані з енергетикою
	Промислові біо- нанотехнології в галузі енергетики та навколишнього середовища
	Технології геодіагностики
	Космічна і океанічна управлінські технології (включаючи спостереження)
	Атомна енергія
	Поновлювані джерела енергії
	Викопні палива
	Ефективна система накопичення енергії
	Енергозбереження
	Сільське господарство, лісівництво та рибальство (в тому числі по збереженню лісів та біологічній небезпеці)

Закінчення табл. 2.3

1	2
	Водні ресурси
	Навколишнє середовище, рециклінг, ресурси, що переробляються
	Вуглеводневі ресурси, мінеральні ресурси
	Спосіб життя і довкілля (в тому числі етика навколишнього середовища)
	Оцінка і контрзаходи щодо глобального потепління
	Технологія для міського поводження з відходами мінімізація / матеріал для охорони довкілля / ресурсо- та енергоекономічні продукти
	Запобігання забруднення навколишнього середовища – атмосфери, води і грунту
	Енергія, ресурси і довкілля
Медицина	Прикладні біонанотехнології
	Зцілення (екзогенний фактор, хвороби обміну речовин і психічні захворювання)
	Медицина, спрямована на безпеку
	Створення нової медичної технології
	Розвиток інтелектуальної і профілактичної медицини
Інші	Соціалізація інформації
	Хмарні обчислення
	Новий принцип інформації та комунікації
	Космічні технології (у тому числі космічна медицина)
	Базові матеріали для нанотехнології
	Вихід (пристрій, систематизація і застосовувана технологія)
	Глобалізація, створення доданої та ринкової вартості
	Непопулярність науки і техніки, проблеми людських ресурсів, зниження народжуваності і старіння населення
	Глобальне управління, щоб запобігти зниженню конкурентоспроможності в Міжнародному ринку (міжнародний менеджмент), розвиток людських ресурсів, щоб конкурувати з іноземними робітниками, і крос-культурне спільне управління.
	Менеджмент, управління в галузі освіти і наукових досліджень, управління у бізнес-середовищі, державне управління
	Рамки для полегшення соціальних інновацій та створення мереж

Складено за [179].

Починаючи з 1995 року, Японія, за результатами форсайт-досліджень, здійснювала виконаня основних планів розвитку науки і техніки.

У *табл. 2.4* наведено основні результати затверджених чотирьох планів.

Таблиця 2.4

Результати проведених форсайт-проектів в Японії

1-й і 2-й Основний план (1996 – 2005 рр.)	3-й Основний план (2006 – 2010 рр.)	4-й Основний план (2011 – 2015 рр.)
А. Збільшення державних науково-дослідних витрат і витрат на розвиток В. Будівництво нової системи наукових досліджень і розробок: 1) подвоєння конкурентних наукових фондів; 2) сприяння співробітництву в галузі наукових кіл та уряду 3) План Підтримка 10000 наукових співробітників (в тому числі аспірантів) С. Три основні ідеї: 1) створення мудрості; 2) життєздатність від мудрості; 3) складні суспільства за допомогою мудрості.	Науково-технічні політичні цілі: ‣ стрибок у галузі відкриття і створення знань; ‣ новатор Японія; ‣ сталий розвиток і т.д. Мета на майбутнє: сильний акцент на ролі «Мудрість». Виховання творчих наукових кадрів. Подальше реформування науково-технічних систем, що призводить до більш високої продуктивності незалежно від серйозності ситуації у Японії через обмеження ресурсів	А. Наука, технології та інновації: 1. «Зелені» Інновації Регенерації від катастрофи навколишнього середовища та енергетики; 2. Інновації у житті. Сприяти фундаментальним дослідженням і зміцненню наукового персоналу: ‣ створення більше 100 науково-дослідних/навчальних центрів в рамках розміщення у топ-50 світових цитат; ‣ місце в окремих областях досліджень; ‣ значне підвищення шкільної освіти

Складено за [179].

2.3.2. Застосування форсайт-прогнозування в США

Основи сучасних підходів до довгострокового прогнозування науково-технологічного розвитку, як зазначено раніше, закладені в 1950-х роках Т. Гордоном та О. Холмером (корпорація Rand, США), які досліджували точність і надійність методу Дельфі для групової оцінки думок експертів.

Останнім часом основні зусилля на федеральному рівні США були спрямовані на складання переліку технологій, критично важливих для національної економіки, тобто критичних для майбутнього економіки країни або для національної безпеки. Міністерство оборони провело ряд таких процедур, аналогічні роботи проводилися Міністерством торгівлі, Радою з конкурентоспроможності та Департаментом з наукової та технологічної політики. Крім того, різні промислові консорціуми (наприклад, аерокосмічних та комп'ютерних систем) становили більш конкретні переліки критичних технологій для своїх секторів і часто розробляли «дорожні карти», встановлюючи, як кожна з цих технологій має розвиватися. Методологія цих процедур включала складання довгого, першого переліку виникаючих технологій, визначення чітких критеріїв відбору згодом, на основі цих критеріїв, складання короткого переліку (зазвичай близько 10 – 20) найважливіших технологій. При оцінці технологій, які відбираються, перевага надавалась таким критеріям, як економічне зростання, технологічна конкурентоспроможність, місткість ринку. Соціальні та екологічні аспекти при цьому найчастіше ігнорувалися [172; 173; 181], а по завершенні цих процедур корпорація Rand складає технічні звіти [162].

В результаті у США були ідентифіковані 7 категорій, які не ранжуються та при цьому включають 27 науково-технічних областей, в яких їх технологічний потенціал або вище, ніж у інших країн, або знаходиться на тому ж рівні, як і у світових лідерів:

- матеріали та структури;
- виробництво (виготовлення окремих продуктів, безперервний виробничий процес, механічна обробка, мікро- і нановиробництва);
- інформатика та зв'язок (компоненти, зв'язок, комп'ютерні системи, управління інформацією, складні та інтелектуальні адаптивні системи, сенсори, програмне забезпечення та інструментарій);
- транспорт (аеродинаміка, авіоніка і керування, двигуни, силові установки, інтеграція систем, людський інтерфейс);
- живі системи (біотехнології, медичні технології, технології сільського господарства і харчової промисловості, людські системи);

- енергетика (коефіцієнт корисної дії, акумуляція, переробка, розподіл і передача енергії, вдосконалення її виробництва);
- якість навколишнього середовища (моніторинг та оцінка, боротьба із забрудненням, оздоровлення і відновлення).

У звіті про форсайт-досліджння щодо глобальних технологічних тенденцій в біотехнологях, нанотехнологях, технологях матеріалів та інформаційних технологях і їх імплікації для світу в 2020 році [162] відображено, що у США, починаючи з 2008 року, державне фінансування нанотехнологій щорічно складає 1 млрд дол. США, а глобальне фінансування нанотехнологій в кілька разів більше. В результаті було виділено такі тренди 2020 року у нанотехнологіях:

- нові сімейства мініатюрних, високо чутливих селективних хімічних і біологічніх датчиків;
- поліпшення управління зарядом батареї та її здібностей;
- індивідуальні датчики, особливо для військових і персоналу аварійних служб;
- обчислювальні пристрої, вбудовані в комерційні товари;
- особистий медичний контрольно-портативний пристрій із записом даних та можливістю зв'язку;
- функціональні наноструктури для контрольованої доставки ліків і для поліпшення продуктивності імплантатів і протезів;
- можливість поширення для людського та екологічного спостереження і контролю.

Загалом, форсайт-проекти, що проводилися в США, викликали багато дискусій, зокрема їх критикували за обмежене використання даних, залучення відносно невеликого числа фахівців з наукових і промислових кіл і за визначення технологій, які дуже широкі для прийняття конкретних політичних рішень.

2.3.3 Практика застосування форсайт-прогнозування у Великобританії

У Великій Британії були проведені три програми форсайта, організовані урядом [166; 169; 175; 183]. Програма «Форсайт 1» (1993 – 1998 рр.) враховувала лише технологічні та ринкові перспективи, «Форсайт 2» (1999 – 2001 рр.) та «Форсайт 3» (2002 – теперішній час) характеризуються інтеграцією технологічних, ринкових і соціальних проблем, а також залученням широкого кола учасників. Очолює програму Урядовий комітет, до якого входять представники 17 міністерств і відомств.

Перша програма була побудована за дисциплінарним принципом – було сформовано 16 тематичних комісій, до складу яких увійшли експерти з промисловості, університетів і держсектора. Практично всі комісії очолювалися представниками великих компаній. У першій програмі на основі результатів методу Дельфі (опитування було проведено серед семи тисяч фахівців) була складена матриця 27 пріоритетних напрямів, розбитих на елементи, що представляють ринкові можливості для Великій Британії і наукові та промислові можливості для їх досягнення. Згодом метод Дельфі у британських форсайт-проектах більше не використовувався.

У другій програмі «Форсайт 2» поряд з раніше встановленими цілями – підвищення конкурентоспроможності та поліпшення якості життя – була додана ще одна мета – досягнення сталого розвитку. Було розширено склад учасників і посилено міждисциплінарний підхід (створені 3 нових тематичних комісії – проблеми старіння населення, попередження злочинів, обробна промисловість, а 15 галузевих комісій об'єднані в 11).

У 2002 році, після всебічної оцінки результатів попереднього періоду, почався новий етап, одне з головних завдань якого – прискорення програми, більш швидке реагування на нові виклики і можливості. Замість 11 тематичних груп, що охоплюють широкі сектора і діють більше п'яти років, сформована «рухлива» програма, кожен етап якої складається з максимум 4-х підпрограм тривалістю від 9 до 18 місяців. При цьому проекти повинні підходити під дві найважливіші категорії:

- найбільш актуальні проблеми соціально-економічного розвитку, де наука може запропонувати можливі рішення,
- найбільш перспективні галузі науки.

Кожна програма являє собою три взаємопов'язаних етапи – аналіз, розповсюдження інформації та застосування результатів, підготовка до наступної програми (*табл. 2.5* [185]). В результаті визначаються державні пріоритети в науково-технічних програмах, у підготовці кадрів, у методах державного регулювання [163]. Бюджетні пріоритети формуються на основі п'ятирічних планів, а з 1990-х рр. – з урахуванням довгострокових прогнозних (на 15 – 30 років) пріоритетів форсайта і сценаріїв.

Таблиця 2.5

Форсайт-програми у Великій Британії

	Етапи проведення форсайта у Великій Британії		
	1993 – 1998 рр.	**1999 – 2001 рр.**	**2002 – 2004 рр.**
1	**2**	**3**	**4**
Організаційна структура	16 галузевих комісій	11 галузевих комісій; 3 тематичні групи; 65 робочих груп	Безперервна програма, кожна стадія якої представлена декількома проектами
Підстави	Науково-технічні пріоритети	Діалог бізнесу і суспільства	Виявлення можливих змін і ризиків, які необхідно враховувати при розробці політики
Охоплення	Різні сектора і технологічні області, переважно в приватному і частково в державному секторі	Різні сектора і предметні області; ще більш широке охоплення, ніж при першому етапі	Головним чином невелику кількість вузьких предметних областей, що становлять особливий інтерес для державних відомств
Учасники	Управління з науки і технології; Міністерства торгівлі і промисловості, дослідні Ради	Управління з науки і технології; Міністерства торгівлі та промисловості, охорони здоров'я, внутрішніх справ, освіти і зайнятості; регіональні адміністрації; професійні, торговельні та громадські організації; дослідні Ради	
Методи	Дельфі і семінари; застосування спеціальних методик в рамках окремих панелей	Головним чином сценарії і консультації; поширення інформації та взаємодія через вебсайти	Широкий спектр методів, включаючи сценарії, семінари, імітаційне моделювання, ігри, тощо (залежно від конкретного проекту)

Закінчення табл. 2.5

1	2	3	4
Продукти	Доповіді експертних панелей, пріоритети, рекомендації, результати опитувань Дельфі, різні проміжні доповіді	Доповіді експертних панелей і робочих груп, численні інтернет-публікації	Огляди стану науки, сценарії, доповіді про реалізацію проектів, плани дій, наукові праці та ін.

Складено за [185].

2.3.4. Проведення форсайт-досліджень в Нідерландах

Форсайт-програми в Нідерландах мають довшу історію, ніж у Великій Британії чи Німеччині [172] – в 70-і роки були спроби вивчити і посилити зв'язки між наукою і суспільством; в 1980-і роки – поради по секторах (сільськогосподарському, навколишнього середовища та охорони здоров'я); а з 90-х створена Координаційна рада, яка бере на себе відповідальність за координацію цієї діяльності. Характерними рисами форсайта в Нідерландах є високий ступінь децентралізації, використання різних методів форсайта, тісну інтеграцію з політичними процесами і структурами і концентрацію на конкретних областях (на відміну від холістичних (цілісних) процедур передбачення в європейських країнах).

З 1990-х років Міністерство економіки почало проводити роботи по передбаченню, які були пов'язані не з усією технологією, а ґрунтувалися на кількох критичних технологіях [154; 159]. Цілями було зробити вклад в технологічну політику, заздалегідь попереджати малі та середні підприємства про можливості та загрози. Для кожної області консультанти склали звіти про можливості застосування кожної з технологій, особливо середніми і малими підприємствами. Основною цільовою групою були середні та малі підприємства.

Міністерство освіти і науки Нідерландів також було залучено до процесу передбачення та в 1992 році створило Координаційний комітет по передбаченню. В задачі комітету входить таке:

- ініціювати, підтримувати та координувати роботи по передбаченню;
- надавати рекомендації міністерству щодо можливостей для наукової та технологічної політики.

Серед областей, в яких були ініційовані роботи по передбаченню – хімія, транспорт та інфраструктура, сільське господарство, енергетика, нанотехнологія, інформатика, дослідження в галузі освіти, правові дослідження, економічні дослідження, суспільні науки та охорона здоров'я. Методологія зазвичай включає попередній вибір тем на основі огляду, представленого членами комітету з урахуванням побажань зовнішніх організацій. Процес передбачення сконструйований таким чином, щоб забезпечити тісну співпрацю з ключовими фігурами, які приймають політичні рішення, а також щоб обґрунтувати пріоритети шляхом оцінки потенційних вкладів науки і технологій в суспільство.

2.3.5. Реалізація форсайт-прогнозування в Німеччині

У Німеччині було проведено два раунди Дельфі – в 1993 і 1998 рр. [154 – 156; 183], результати яких були використані у формуванні державної науково-технічної політики. Ініціатором їх було Федеральне міністерство з освіти, науки, досліджень і технологій, а проводив – Інститут Фраунхофера в Карлсруе [74]. Першим етапом був проведений Інститутом систем та інновацій огляд переліків «критичних технологій», складених у Сполучених Штатах, а також результатів робіт з передбачення в інших країнах. Наступним стало складання довгого переліку з 86 технологій з їх потенційною корисністю протягом найближчих 10 –15 років. За допомогою методу дерева відносної важливості експерти з Федерального міністерства освіти і науки оцінили кожну технологію з використанням таких критеріїв як розподіл за часом, економічна важливість і неекономічні вигоди, визначаючи найбільш важливі для Німеччини з точки зору кожного критерію. Загальна мета цих обстежень – не прогноз майбутнього, а підготовка можливих сценаріїв і збір інформації для прийняття рішень, а також підготовка наукової бази для загальнонаціональної дискусії з питань формування майбутнього країни.

В іншій ініціативі Інститут Фраунхофера співпрацював з NISTEP [179] в Японії, який на той час складав п'ятий 30-річний прогноз. Першим кроком такої взаємодії став переклад німецькою мовою японських тем для опитування Дельфі. Теми були запропоновані великій кількості експертів, що працюють у промисловості, університетах та уряді. Відмінності між двома групами результатів стосувалися відносної важливості окремих тем та ймовірними обмеженнями. Хоча вищевказана процедура була досить успішна, зокрема, дозволила порівняти погляди німецьких і японських експертів, підхід мав свої слабкі сторони. Тому дві країни провели «міні-Дельфі» процедуру для вироблення поліпшеної методології. Новим було те, що країни спільно вибирали теми, визначалися категорії важливості (для науки і технології, з *одного боку*, і економіки, екології і суспільства, з *іншого боку*) і включення питань про умови стимулювання інновацій.

Передбачення у Німеччині на федеральному рівні вплинуло на бюджетні пріоритети в Міністерстві освіти і науки, хоча технологічне передбачення було тільки одним з вихідних даних. Воно також зіграло роль у стратегічних переговорах з промисловими і великими дослідницькими організаціями. Ряд місцевих урядів провів дослідження регіональних наслідків результатів національного передбачення. В промисловості конкретніші процедури передбачення були проведені промисловими асоціаціями.

Результатом форсайтних досліджень у тісній співпраці з японськими колегами («Дельфі-93» і «Дельфі-98») стала своя унікальна програма Futur [165] (інша назва – «Німецький дослідницький діалог»), що дозволяє формувати стратегічне бачення для Міністерства освіти і науки на наступні 20 років.

2.3.6. Форсайт-прогнозування у Франції

У Франції на початку 80-х років було проведено консультаційний захід, в якому були задіяні 1200 експертів і результатом якого були звіти по п'яти пріоритетним областям, а також загальний звіт. Через рік було проведено Національний колоквіум з науки і технологій і ряд регіональних зустрічей, в яких взяло участь 3000 осіб. Було визначено шість ключових технологій, і уряд запустив національну програму по їх просуванню.

У 80-ті роки проводилися регулярні роботи по передбаченню для коригування та координування цих національних програм.

Проведення технологічного форсайта у Франції в 1999 – 2000 роках здійснювалося в 4 етапи [151; 154]. Характерна риса французького форсайта – його організація в двох паралельних взаємодоповнюючих напрямах. *Перше* з них реалізовувалося Міністерством вищої освіти і досліджень і проводилося за методом Дельфі з широким залученням експертів. Його стратегічною метою було вивчення важливих технологічних розробок у різних областях, які цікавитимуть економіку і суспільство у майбутньому. *Другий* напрям, яким керувало Міністерство промисловості, мав на меті вивчення технологій, критично важливих для французької промисловості в найближчі 30 років.

Анкети були розіслані більш 3000 експертам, які в рівних частинах представляли промисловість, університети та державні дослідницькі організації і охоплювали 15 секторів. Порівняння результатів з тими, які були отримані в Японії і Німеччині, виявило схожість поглядів на розподіл за часом технологічного розвитку та інновацій. В якості методичної основи дослідження використовувався бібліометричний і патентний аналіз, а також експертне оцінювання.

2.3.7. Практика застосування форсайт-прогнозування в Росії

Історія форсайт-досліджень у Росії нараховує вже майже 15 років. За ці роки різними відомствами і науковими колективами були реалізовані проекти, націлені на визначення перспектив розвитку тих чи інших науково-технологічних напрямів, секторів економіки, регіонів. Активно форсайт-дослідження в Росії стали проводитися лише з 2006 р. Широкого резонансу набули: промислово-енергетичний форсайт Міністерства промисловості та енергетики, форсайт атомної галузі, форсайт Міністерства інформатизації і зв'язку, форсайт Міністерства освіти і науки [111; 148]. Проводились регіональні форсайти в Москві, Пермі, Іркутській і Ростовській областях, в Красноярському краї, а також у республіках Башкортостан і Саха (Якутія) та ін.

У 1996 році Урядова комісія з науково-технічної політиці затвердила переліки 10 пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки та 70 критичних технологій. У ті роки, коли економіка країни перебувала в стані кризи, а наука фінансувалася за залишковим принципом, науково-технічні пріоритети носили досить формальний характер, а основним завданням наукової політики було збереження наукового потенціалу країни.

У 1997 – 1998 роках за завданням Уряду Російської Федерації був реалізований масштабний проект з оцінки стану і перспектив розвитку критичних технологій. У ньому брали участь більше 1000 авторитетних учених і фахівців з провідних академічних та галузевих інститутів, державних наукових центрів і промислових підприємств. Метою експертизи було виявлення позицій російської науки по широкому спектру (більше 250) технологічних областей, наявності технологічних заділів та інноваційного потенціалу, оцінка важливості для вирішення нагальних завдань розвитку економіки, соціального розвитку, підвищення обороноздатності країни. По кожній з оцінюваних технологій здійснювався бенчмаркінг – порівняння з еталоном (найкращим світовим рівнем). Результати експертизи послужили основою для формування уточнених переліків (що включали 9 пріоритетних напрямів розвитку науки, технологій і техніки та 52 критичних технологій), які були затверджені в 2002 році.

Одночасно з новими переліками були прийняті «Основи політики Російської Федерації в галузі розвитку науки і технології на період до 2010 року і подальшу перспективу» – документ, що заклав основи переходу до політики інноваційного розвитку економіки, створення ефективної національної інноваційної системи [108]. В 2004 – 2005 роках Міністерство освіти та науки Росії провело роботу з перегляду переліку пріоритетів на істотно модифікованій методологічній базі. Були обрані технології, першочергова підтримка яких сприяла зростанню конкурентоспроможності російської промисловості та сфери послуг, а також був значно розширений арсенал методів форсайта – до їх числа увійшли інтерв'ю з керівниками великих компаній, експертні панелі, тематичні фокус-групи, а також серії експертних опитувань. Комбінація різноманітних підходів дозволила на різних етапах роботи задіяти кращі якості експертів, побудувати обгово-

рення у фокус-групах навколо практичних аспектів використання технологій і за рахунок цього значною мірою уникнути лобіювання з боку окремих наукових шкіл. Сформований в результаті перелік пріоритетів був значно коротший і детальніший від попереднього та відрізнявся від нього більш практичною спрямованістю. До нього увійшли 8 напрямів:

- раціональне природокористування;
- живі системи;
- безпека і боротьба з тероризмом;
- інформаційно-телекомунікаційні системи;
- індустрія наносистем і матеріали;
- енергетика та енергозбереження;
- транспортні, авіаційні та космічні системи;
- військова та спеціальна техніка.

У грудні 2006 року на засіданні Міжвідомчої комісії з науково-інноваційної політики було затверджено Концепцію довгострокового прогнозу науково-технологічного розвитку Російської Федерації на період до 2025 року, підготовлений Міністерством освіти і науки Російської Федерації в 2007 – 2008 роках [56], що передбачає проведення робіт з виявлення найбільш перспективних наукових та технологічних напрямів, які могли б лягти в основу довгострокової наукової та інноваційної політики розвитку країни, і оцінці технологічних можливостей обраних напрямів для підвищення конкурентоспроможності російських компаній. Прогноз розроблявся в рамках Федеральної цільової програми «Дослідження і розробки за пріоритетними напрямами розвитку науково-технологічного комплексу Росії на 2007 – 2012 роки» [115] із застосуванням методів критичні технології, експертні панелі, сценарії, а також за безпосередньої підтримки з боку Федерального агентства з науки та інновацій.

Результати аналізу інформації про стан розвитку форсайт-досліджень в Росії по матеріалам, поданим в [135], наведено у *табл. 2.6.*

Таблиця 2.6

Стан розвитку форсайт-досліджень в Росії

Назва форсайта	Горизонт форсайта	Використані методи	Кількість експертів	Склад експертного середовища	Форма подання результатів форсайта
1	2	3	4	5	6
Довгостроковий технологічний прогноз IT Foresight	До 2020 р. (15 років)	Анкетування, круглі столи, семінари, конференції, аналіз відкритих джерел інформації, SWOT-аналіз	56 осіб (9 круглих столів), 138 осіб (кількісне анкетування), 500 осіб (анкетування)	Склад учасників круглих столів – в основному представники бізнесу. Представники держ. апарату, науки, бізнесу в сфері інформаційно-комунікаційних технологій	Підсумковий аналітичний звіт (представлений в Інтернеті)
Промислово-енергетичний форсайт	До 2020 р. (10 років)	Анкетування			Сценарії розвитку ключових галузей (металургійна і хімічна промисловість; енергоефективне суспільство) і створення лінійок часу (представлені в Інтернеті)
Технологічний форсайт у сфері енергетики та енергомашинобудування	До 2025 р. (15 років)	Опитування експертів		Провідні фахівці та експерти підприємств досліджуваних галузей	Перелік та паспорти критичних технологій, списки найважливіших інноваційних продуктів, сценарії розвитку технологій і галузі в цілому, зведені підсумки пілотного опитування експертів

Закінчення табл. 2.6

1	2	3	4	5	6
Прогноз науково-технологічного розвитку Росії на довгострокову перспективу	До 2025 (15 років)	Метод Дельфі	2000 експертів	Представники всіх основних напрямів технологічного розвитку	Підсумковий звіт (представлений в Інтернеті)
Форсайт розвитку науки і технологій		Сценування, побудова дорожніх карт, аналіз середовища, методика «технологічні пакети», ігрове імітаційне моделювання			Підсумковий звіт (представлений в Інтернеті)
Форсайт ГК «Роснанотех»		Опитування експертів, складання технологічних дорожніх карт		Представники російського і світового наукового та бізнес-співтовариств	Технологічні дорожні карти
Регіональний форсайт Башкортостану	10 років	Метод критичних технологій, SWOT-аналіз, опитування експертів, фокус-групи			
Регіональний форсайт Іркутської області	До 2030 р (15 років)	SWOT-аналіз, опитування експертів,		Представники адміністрації, бізнесу, науки та ініціативна група з жителів регіону	Пілотний звіт по етапу предфорсайту

Складено за [44].

2.3.8. Особливості форсайт-прогнозування в Україні

Відповідно до Закону «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» [18] правовою основою формування та реалізації пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки є Конституція України, Закони України «Про наукову і науково-технічну діяльність», «Про державне прогнозування та розроблення програм економічного і соціального розвитку України» [15; 17]. Протягом 2004 – 2006 років за рішенням Кабінету Міністрів України виконувалася Державна програма прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку [85]. Згідно із зазначеною програмою була розроблена національна методика прогнозно-аналітичних досліджень [95], яка заснована на комбінації методів форсайта і складається з таких етапів:

1) Добір експертів, які беруть участь у прогнозно-аналітичному дослідженні (при формуванні групи експертів використовується метод «снігової кулі»).
2) Формування попереднього переліку ТН і системи критеріїв їх оцінки щодо головних цілей науково-технічного розвитку (НТР) країни за допомогою експертних опитувань, а також «еталонного аналізу» (порівняння з іншими країнами або регіонами) відбувається формування попереднього переліку ТН і системи критеріїв їх оцінки щодо головних цілей НТР країни.
3) Оцінка експертами переліку отриманих ТН по заданим критеріям. Дана процедура здійснюється за допомогою методу Дельфі, який передбачає опитування (анкетування) експертів і організацію зворотного зв'язку (через проведення трьох турів опитування). Результати дослідження включають зведені оцінки по кожній темі, а також аналітичні огляди за ТН.
4) Погодження і затвердження отриманих на попередньому етапі переліків ТН НТР країни.

Зазначена методика у вигляді контекстної діаграми наведена на *рис. 2.2*.

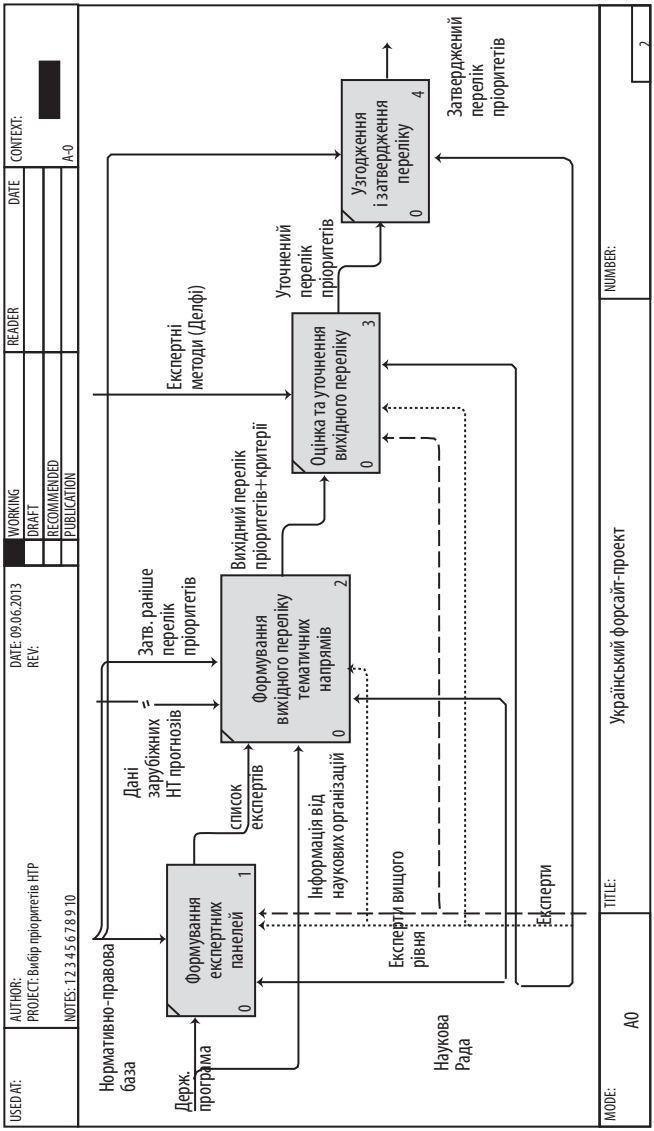

Рис. 2.2 Національна методика прогнозно-аналітичних досліджень з вибору найбільш перспективних напрямів розвитку науки і техніки в Україні [95]

Головною метою українського форсайта є виявлення найбільш перспективних напрямів розвитку науки і технологій та аналіз стану справ у відповідній галузі. За підсумками прогнозно-аналітичного дослідження був створений сайт НАН України [140], на якому представлені звіт про виконання програми та інші інформаційні матеріали.

2.3.9. Огляд особливостей реалізації форсайт-проектів в інших країнах світу

В 1997р. у Швеції був розпочатий національний проект «Технологічний форсайт» [144; 158], мета якого полягала в залученні якомога більшого кола учасників до обговорення ефективних шляхів стимулювання довгострокової взаємодії між технологічними, економічними, інституційними і соціальними процесами, а також надання допомоги в довгостроковому плануванні компаніям і організаціям. На відміну від інших країн, цей проект був ініційований не урядом, а діловими та науковими колами. Його організували Шведська королівська академія інженерних наук (Royal Swedish Academy of Engineering Sciences), Національна рада промислового і технічного розвитку (Swedish National Board for Industrial and Technical Development), Фонд стратегічних досліджень (Swedish Foundation for Strategic Research) і Федерація промисловості (Federation of Swedish Industries). Проект був реалізований за підтримки уряду, державних агентств та інших зацікавлених сторін. Загальне фінансування склало 4 млн шв. крон.

В 1999 р. було створено 8 експертних комітетів, в роботі яких брало участь 130 експертів з промисловості, наукової спільноти та державного сектора, за такими напрямами: охорона здоров'я і медицина; біологічні природні ресурси; громадська інфраструктура; виробничі системи; інформаційні та комунікаційні системи; матеріали та матеріальні потоки; послуги; освіта. Результати їх діяльності були представлені на фінальній конференції в присутності прем'єр-міністра країни в березні 2000 р. Протягом наступних двох років інформація відкрито і широко обговорювалася на великій кількості зустрічей і регіональних конференцій по всій країні. Рекомендації та пріоритети даного етапу форсайта були практично повністю включені до урядової науково-технічної стратегії.

Швецьке форсайт-дослідження отримали широку підтримку з боку приватного бізнесу; наприклад, у 2001 році 18 компаній та організацій спонсорували проведення регіонального форсайта в Західній Швеції.

В Угорщині програма технологічного форсайта (Technology Foresight Programme, TEP) була розпочата у 1997 р. з метою розробки рекомендацій для поліпшення конкурентоспроможності країни в довгостроковому порядку та підвищення якості життя населення [171]. Створення програми проводилося з урахуванням досвіду Великої Британії та Німеччини, ця програма була повністю профінансована урядом. В ході реалізації програми було сформовано 7 експертних комітетів чисельністю 20 – 25 осіб (до складу яких входили провідні промисловці, науковці та представники уряду) за наступними міждисциплінарними проблемами: людські ресурси (освіта і зайнятість); охорона здоров'я; інформаційні технології, телекомунікації, медіа; природне і штучне середовище; виробничі процеси; агробізнес та продукти харчування; транспорт.

Робота експертних комітетів (регулярні зустрічі, семінари, дослідження, сценарії, рекомендації, остаточний звіт) була доповнена опитуванням Дельфі, проведеним в 1999 р. (Було розіслано 1.400 запитальників по 60 – 80 позиціях). У програмі взяли участь понад 200 провідних експертів країни, кілька сотень представників бізнесу, вчених і адміністрації, проведено більше 200 регіональних робочих нарад. Остаточний звіт складався з трьох розділів: критична оцінка поточної ситуації на основі SWOT-аналізу, альтернативні варіанти майбутнього, рекомендації. Результати програми, включаючи рекомендації експертних комітетів, розглядалися парламентом країни за участю міністерств, відповідальних за розробку стратегічних планів інноваційного розвитку країни, та інших державних відомств [178].

Таким чином, великі проекти, які присвячені вибору технологічних пріоритетів на національному рівні, вимагають нових підходів, які забезпечують отримання об'єктивних оцінок, заснованих на кількісному аналізі емпіричних даних – статистичних індикаторів, патентної статистики, бібліометричній інформації та ін.

2.4. Узагальнена характеристика методів форсайт-досліджень

Набір підходів, що використовуються у форсайт-дослідженнях, постійно розширюється і охоплює сьогодні десятки методів – як якісних (інтерв'ю, огляди літератури, морфологічний аналіз, «дерева відповідностей», сценарії, рольові ігри та ін.), так і кількісних (аналіз взаємного впливу (cross-impact analysis), екстраполяція, моделювання, аналіз і прогноз індикаторів методів і ін.) [53; 128; 135; м177]. В [83] показана популярність різних методів форсайту по регіонах світу (*рис. 2.3*).

Вибір методів форсайт-досліджень зазвичай визначається низкою факторів: наявністю ресурсів (грошових та часових); необхідними результатами; природою розглянутих предметних областей; наявністю достатньої кількості висококваліфікованих експертів, доступу до інформаційних джерел та ін.

Успішні проекти останніх років ґрунтувалися на комплексних підходах, тобто ефективність комбінованого застосування різних якісних і кількісних методів знайшла своє підтвердження. Так, у восьмому японському форсайті використовувалися метод Дельфі, експертні панелі та огляди літератури; бібліометричні дослідження, в ході яких були виявлені та проаналізовані виникаючі і технологічні області, які найбільш швидко розвиваються; експертне опитування населення для виявлення найважливіших соціально-економічних цілей технологічного розвитку; побудова довгострокових сценаріїв для ряду технологічних областей. Аналогічні тенденції характерні і для таких регулярних національних технологічних форсайтів, як німецька програма Futur [165] та третій раунд британського форсайту [185].

Зазвичай у кожному форсайт-проекті застосовується комбінація різних методів, але в цілому методологія форсайт базується на цілеспрямованому виявленні та використанні знань експертів. Нижче наводиться короткий опис найпоширеніших методів, які використовуються при проведенні форсайт-досліджень.

Дельфі-опитування. В основі методу – відбір та опитування великої кількості висококваліфікованих експертів (до 2 – 3 тисяч); створення експертних панелей з окремих напрямів науки і технологій; розробка переліку

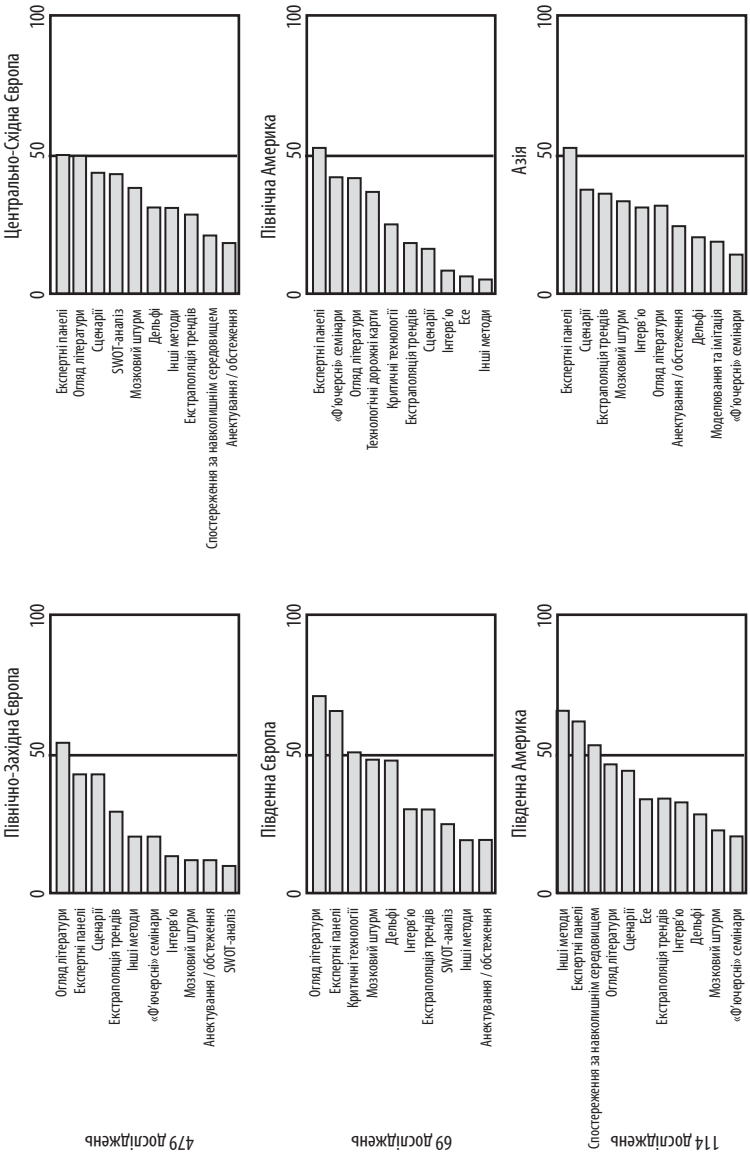

Рис. 2.3. Популярність методів форсайта по регіонах світу

тем – потенційних науково-технологічних досягнень, очікуваних в довгостроковій (25 – 30 років) перспективі, включаючи фундаментальні і прикладні дослідження, інноваційні товари та послуги, створювані на основі нових технологій [97; 150]. Експерти оцінюють актуальність кожної теми для розвитку економіки, суспільства, наявність ресурсів і потенційних бар'єрів для практичної реалізації. Аналіз за допомогою методу Дельфі проводиться в кілька етапів, результати обробляються статистичними методами та включають зведені оцінки по кожній темі, а також аналітичні огляди по найважливіших напрямках науки і технологій. Метод Дельфі дає можливість проводити опитування екстериторіально, тобто не збираючи експертів в одному місці (наприклад, за допомогою електронної пошти). Застосовується цей метод в Україні, Японії, Німеччині, використовувався в першому форсайті у Великій Британії та в ряді інших країн світу.

«**Критичні технології**». Перелік критичних технологій формується на основі знань експертів, що мають найвищу кваліфікацію у відповідних областях [177; 181]. До участі у форсайт-дослідженні за методом «критичні технології» зазвичай привертають не більше 200 експертів, а горизонт прогнозування – від 5 до 10 років. Попередній перелік критичних технологій формується на основі експертних опитувань та інтерв'ю. Згодом цей перелік обговорюється в рамках спеціальних панелей і фокус-груп, у процесі яких відбувається остаточний відбір і узгодження переліку критичних технологій. Іноді застосовується «еталонний аналіз», тобто порівняння з іншими країнами або регіонами, що дозволяє співвіднести об'єкт форсайт-дослідження з рівнем світових лідерів, виявити ступінь відставання і розробити стратегію по прискоренню технологічного розвитку у секторах з найбільшим інноваційним потенціалом. Зазвичай основна мета – підвищення конкурентоспроможності економіки і вирішення найважливіших соціальних проблем. Цей метод форсайту використовується в США, Франції, Чехії, Україні, Росії та інших країнах.

Метод технологічної дорожньої карти позначає досить широкий клас інтелектуальних методик, що дозволяють прогнозувати розвиток технологій. Метод був розроблений компанією Motorola в кінці 70-х років. Основна ідея методу полягає у створенні візуального представлення плану-

сценарію розвитку технологій, який фіксує можливі сюжети і точки критичних рішень, тобто в організації стратегічного планування, до якого залучаються експерти, що представляють основні складові бізнесу – маркетинг, фінанси, виробничу інфраструктуру, технології, дослідження та розробки [164; 188]. «Дорожня карта» ілюструє етапи переходу від поточного стану до фаз розвитку в довгостроковій перспективі за рахунок синхронного розвитку технологій, продуктів, послуг, бізнесу і ринку.

Залежно від об'єкта дорожнього картування виділяються:

- галузеві (ринкові, промислові) дорожні карти – сценарії розвитку галузі, індустрії (окремого ринку, сектора промисловості);
- корпоративні дорожні карти – сценарії розвитку окремого підприємства;
- технологічні дорожні карти – сценарії розвитку технологій та технологічного сектора;
- продуктові дорожні карти – сценарії розвитку продукту або продуктової лінійки в часі.

Основною перевагою методу є вироблення узгодженого бачення довгострокових цілей розвитку галузі чи компанії. Наприклад, другий етап британського форсайта застосовувався до сфери транспорту.

Розробка сценаріїв. Даний метод вважають одним з найбільш ефективних у роботі з майбутнім. Реалізація цього методу передбачає розробку кількох розгорнутих картин майбутнього (сценаріїв), кожна з яких реалізується при виконанні певних умов. Сценарії створюються за принципом «знизу вгору» або «зверху вниз» і базуються на аналізі майбутніх можливостей та альтернативних траєкторій розвитку [134].

Стосовно до форсайт-досліджень сценарний підхід припускає створення сценаріїв розвитку тих чи інших технологічних областей. Сценарії найбільш ефективні як додаток до досліджень, виконаних з використанням інших методів – SWOT-аналізу, мозкових штурмів, бібліометричного та патентного аналізів тощо. Цей метод використовувався у другому британському форсайті та в українському і російському форсайтах.

SWOT-аналіз (Strengths; Weaknesses; Opportunities; Threats). Методологія SWOT-аналізу передбачає виявлення внутрішніх сильних і слабких сторін організації, а також зовнішніх можливостей і загроз і встановлення зв'язків між ними [92; 182]. Оскільки SWOT-аналіз в загальному вигляді не містить економічних категорій, його можна застосовувати до будь-яких організацій, окремих людей і країн для побудови стратегій в найрізноманітніших галузях діяльності. Аналіз передбачає оцінку по внутрішнім (сильні та слабкі сторони об'єкта дослідження) і зовнішнім (можливості та загрози для об'єкта дослідження) факторам та відповідає на такі питання:

- Чи використовує об'єкт дослідження внутрішні сильні сторони або відмітні переваги у своїй стратегії?
- Чи є слабкості об'єкта дослідження його уразливими місцями в конкуренції?
- Які сприятливі можливості дають об'єкту дослідження реальні шанси на успіх при використанні його кваліфікації і доступу до ресурсів?

Отже, SWOT-аналіз, як процес стратегічного планування, проводять поступово, починаючи з аналізу зовнішнього потім внутрішнього оточень, а наприкінці – будують стратегії і тактичні дії. При цьому, структурована інформація по кожному з напрямів – сили, слабкості, можливості, загрози – оцінюється кількісними заходами, на основі яких за допомогою функцій корисності обчислюється потенціал досліджуваного об'єкта по кожному напрямку.

Розробка майбутнього (від англ. Futures workshops) – ця технологія була запропонована як інструмент проектування. Вона близька до сценарного підходу, з тією відмінністю, що сценарний підхід пропонує і обґрунтовує набір альтернативних картин майбутнього, а «Розробка майбутнього» передбачає створення картини ідеального бажаного майбутнього і практичного плану його реалізації [190].

Експертні панелі. Метод форсайта, в якому через рівні проміжки часу збирають дані в однієї групи опитуваних [185]. Цей метод вважається базовим і використовується практично у всіх форсайт-проектах. Панель формується з групи (12 – 20 осіб) спеціально підібраних людей (експер-

ти, споживачі) або на базі організації, підприємства, яким пропонується протягом декількох місяців обміркувати можливі варіанти майбутнього по заданій тематиці, використовуючи новітні аналітичні та інформаційні матеріали та розробки. Метою формування панелі є систематичне або періодичне отримання інформації про стан справ у регіоні, тенденції наукових напрямів, сформовану ситуацію на ринку і т. ін. Ефективне дослідження забезпечується кількісною і позиційною різноманітністю експертної панелі. Метод може доповнювати інші підходи, що застосовуються в технологіях форсайту.

Бібліометричний аналіз надає змогу виявляти показники пріоритетності того чи іншого наукового напрямку, рівня оцінки його значущості вітчизняними та зарубіжними вченими за допомогою набору методів, які призначені для вивчення або вимірювання текстів та інформації, до якого входять аналіз цитування та контент-аналіз [141]. Застосування бібліометричних методів дозволяє одночасного охопити всі сфери науки в цілому та окремих її дисциплін, організацій, колективів, науковців тощо; проводити дослідження окремих об'єктів в динаміці і виявлення зв'язків між ними на обширному інформаційному матеріалі за рахунок використання світових баз даних [190].

Сучасні бібліографічні дослідження проводяться за допомогою довідково-бібліометричних електронних ресурсів. Джерелом бібліометричної інформації служать бази даних (бібліографічні, фактографічні або реферативні) і пов'язані з ними сервіси. Основні ресурси: політематичні – Web of Knowledge, Scopus, Національна бібліотека України ім. В. І. Вернадського, Російський індекс наукового цитування (РІНЦ); вузькоспеціалізовані Inspec (Інститут електротехніки, Великобританія), Medline (Національна бібліотека з медицини, США), Chemical Abstracts (Американське хімічне товариство), Compendex (компанія Engineering Information, США), Embase (компанія Excerpta Medica, Данія), Biological Abstracts (міжнародна база даних на реферативний журнал, США) та ін. Спостереження за цитуванням наукових робіт дозволяє простежити за розвитком тієї чи іншої ідеї в часі, за проникненням її в суміжні області.

Таким чином, бібліометричні показники (число наукових публікацій по різних галузях знання і їх цитовність) дозволяють будувати судження про внесок вчених різних країн як у загальносвітовій прогрес науки, так і в розвиток окремих наукових дисциплін, а також загальне уявлення про те, в якому напрямку рухаються наука і технології.

Патентний аналіз. Аналіз тенденцій розвитку техніки, в тому числі і нанотехнологій, є одним з найбільш поширених і найбільш важливих видів патентних досліджень [133]. Великі масиви патентних заявок забезпечують можливість безцінної інформаційно-аналітичної підтримки управління технологічними розробками. Вивчення тенденцій розвитку техніки дозволяє оцінити потреби ринку у створюваній продукції, виявити альтернативні напрямки науково-технічного розвитку, визначити якісно нові шляхи створення розробок, що відповідають кращим світовим досягненням. Дослідження тенденцій і закономірностей розвитку конкретних видів або областей техніки являють собою один з видів науково-технічного прогнозування, при цьому під прогнозом розвитку досліджуваної області розуміється визначення напрямів, які матимуть переважний розвиток у майбутньому. Оцінки, отримані на основі патентної інформації, можна розглядати як короткострокові і середньострокові прогнози розвитку техніки, розраховані на період п'ять – десять років.

Існує два основних типи патентного аналізу: внутрішній і зовнішній. Внутрішній аналіз забезпечує компаніям можливість оцінки власного технологічного портфеля і маневрування у своїй галузі. Зовнішній патентний аналіз дозволяє передбачати напрямки розвитку технологій, зміст спільних розробок. Такий аналіз є унікальним засобом ідентифікації інновацій і технологічних змін [124].

Прогностичний потенціал патентної інформації визначається двома основними факторами:

А) Випереджаючий характер патентної інформації, тобто інформація про винаходи та інші об'єкти промислової власності стає доступною широкому колу користувачів раніше появи на ринку продукції з використанням цих винаходів;

Б) Прямий зв'язок між інтенсивністю патентування винаходів, пов'язаних з удосконаленням продукції – з'являється можливість аналізувати тенденції розвитку конкретної продукції не тільки за динамікою обсягів продаж цієї продукції протягом певного періоду часу, а й за динамікою патентування винаходів, пов'язаних з удосконаленням продукції даного виду.

Отже, патентний аналіз дозволяє виявляти нові напрямки розвитку як окремих технологій, так і цілих технічних галузей.

Скринінг робастних портфельних моделей (Robust Portfolio Models, RPM) – це інструмент аналізу найбільш перспективних інноваційних ідей, що включає розподілену генерацію, спільне коментування, ітераційнє коригування, багатокритеріальну оцінку і портфельний аналіз інноваційних ідей [180]. Він заснований на робастному портфельному моделюванні і дозволяє враховувати точки зору і перспективні інноваційні ідеї, висунуті різними гравцями, і в цьому сенсі відповідає вимогам різноманіття. Метод RPM заснований на необмеженому за часом відборі ідей, пов'язаних з перспективними інноваціями, в якому можуть бути відображені інші, більш розпливчасті сигнали.

Згідно з методологією портфельного моделювання, цінність кожної ідеї подається як середньозважена сума її критеріальних оцінок у балах, а загальна вартість портфеля розраховується шляхом підсумовування цінностей ідей, що містяться в ньому. «Найбільш цікаві» ідеї (проекти) визначаються шляхом обчислення недомінуємих портфелів (тобто портфелів, що мають найбільш високу сумарну оцінку за всіма можливими параметрами). Звідси одна з ключових характеристик методу RPM – можливість оцінювати привабливість окремих ідей шляхом аналізу на портфельному рівні. Цей метод застосовується при проведенні форсайта у Фінляндії.

PEST-аналіз (Political, Economical, Sociological, Technological Change) – займається вивченням впливу зовнішніх факторів макросередовища, які чинять вплив на діяльність підприємства, а саме: уряд, економіка, соціально-демографічне середовище, науково-технічний прогрес, природні чинники [51; 118]. Розглядаючи ті чи інші чинники, в PEST-аналізі задаються питання: які майбутні технологічні (культурні, економічні) тенденції

можуть вплинути на попит і ринкове становище в конкурентоспроможному середовищі та коли це може статися?

При розгляді *політичних факторів* особлива увага приділяється: розумінню механізму розподілу державою основних економічних ресурсів; аналізу урядової стабільності; вивченню податкової політики та законодавства у сфері антимонопольного права, зовнішньоекономічного законодавства, законів з охорони природного середовища, регулювання зайнятості населення; розуміння державного впливу на галузь, його позиції по відношенню до іноземного капіталу, а також наміри щодо розвитку суспільства та про засоби, за допомогою яких передбачається впроваджувати свою політику.

Такі фактори як: вивчення формування споживчих переваг, їх зміни та активності споживачів; демографічна структура населення та якість його життя; відношення людей до праці; соціальна мобільність населення – є основою при формуванні соціальних чинників.

При розгляді економічних чинників особлива увага приділяється: тенденціям зміни валового національного продукту; інвестиційній політиці; рівню безробіття та інфляції; дефіциту бюджету; нормам оподаткування; рівню цін і заробітної плати; процентним ставкам та курсу іноземної валюти; цінам на енергоресурси, а також визначенню загального рівня економічного розвитку та ринкових відносин.

При формуванні технологічних чинників розглядають такі питання: захист інтелектуальної власності; державна політика в галузі науки і техніки; вивчення нових технологій, продуктів, наукових відкриттів, патентів, які з'являються на ринку; удосконалення необхідного технічного обладнання і процесів виробництва.

PEST-аналіз зазвичай проводять протягом певного часу, повертаючись до більш ранніх результатів аналізу факторів змін, порівнюючи їх з більш пізніми.

Дерево релевантності або дерево цілей (Relevance-tree або Objectives-tree) – дозволяє систематизувати уявлення про досліджувану область або проблему та являє собою графічну модель прийняття рішень, яка включає цілі, завдання, заходи декількох рівнів структуризації, а також зв'язки

між ними (включення та / або підлеглості). Як правило, для реалізації всіх висунутих цілей ресурсів не вистачає, тому існує необхідність виділення із загальної сукупності цілей найбільш важливих, пріоритетних [383]. «Дерево цілей» дає можливість деталізувати загальні цілі, завдання та заходи на їх складові елементи та оцінити найбільш важливі, переважні з їх числа, що є досить корисним при розробці планів. Верх «Дерева цілей» передбачає найбільшу невизначеність і широке охоплення, низ « Дерева цілей» – навпаки, дуже чітке, конкретне розуміння того, що потрібно зробити.

Таким чином, «Дерево цілей» – структурована, побудована за ієрархічним принципом (ранжована за рівнями) сукупність цілей системи, програми, плану. Будується шляхом послідовного виділення все більш дрібних компонентів на рівнях, що понижаються і є сукупністю генеральної мети, головної мети і підцілей. Використовуються для визначення умов досягнення майбутніх цілей: які умови розвитку можуть сформуватися в майбутньому, які ресурси, дії та знання можуть знадобитися.

Бенчмаркінг – пошук прикладів передового досвіду з практики інших корпорацій, порівняння з власною діяльністю і виявлення таким чином слабких сторін у своїй діяльності [38], тобто це метод об'єктивного систематичного зіставлення діяльності власного підприємства з роботою підприємств-конкурентів (підрозділів свого підприємства), виявлення причин ефективності бізнесу партнерів, організація відповідних дій для поліпшення власних показників та їх реалізація. Методи бенчмаркінгу широко застосовуються як на рівні окремих компаній, так і в цілому в таких сферах діяльності як дослідження, інновації та управління знаннями. Проглядається схожість бенчмаркінгу з підходами SWOT-аналізу.

Форсайт-конференція – специфічний метод форсайта. Основні риси форсайт-конференції [36; 177]:

- опрацювання експертами обраної проблеми здійснюється заздалегідь, як правило, незалежно від інших експертів (як в методі Дельфі) протягом декількох місяців або навіть років;
- дискусійне обговорення проблеми в експрес-режимі (2 – 3 дні) у формі «круглих столів» і «мозкових штурмів»;

- для обговорення залучаються провідні наукові кадри, а також зацікавлені у вирішенні проблеми представники влади, бізнесу та громадськості;
- в ході обговорень і дискусій експерти пропонують ряд альтернатив, і намагаються виявити приховані проблеми та обмеження;
- конкретні заходи, програми та бізнес-проекти – це завдання на післядію, яка може тривати ще кілька місяців після проведення форсайт-конференції.

Особливим чином організовані форсайт-конференції можуть стати важливою ланкою в постійному довгостроковому «проектуванні майбутнього», що здійснюватиметься науковими організаціями та інститутами.

Отже, можна узагальнити типи і програми форсайту за країнами світу, як це наведено в *табл. 2.7*.

Таблиця 2.7

Форсайт-програми країн світу

Роки	Тип форсайту	Програми форсайту, країна (методи форсайту)
1	2	3
2000	Ринково-технологічний форсайт	• 7-е дослідження STA, Японія (Дельфі); • «Проспектар», Бразилія (Дельфі); • Технологічна форсайт-програма Бразилії (змішані методи); • 2-а програма «100 ключові технології», Франція (змішані методи); • Програма ET2000, Португалія (змішані методи)
2001		• Технологічний форсайт, Чілі (Дельфі); • «Futur-1», Німеччина (змішані методи); • Технологічний форсайт, Греція (змішані методи); • Програма технологічного форсайту (1-й цикл), Венесуела (змішані методи); • Програма технологічного форсайту, Чехія (змішані методи)
2002		• Програма технологічного форсайту; • Дорожня карта Національного інституту здоров'я, США (дорожні карти); • 3-я програма форсайту, Великобританія (змішані методи); • Програми Vision 2023, Турція (змішані методи)

Закінчення табл. 2.9

1	2	3
2003		‣ Програма технологічного форсайту, Греція (змішані методи); ‣ Дослідження Вченої ради 2020, Норвегія, (змішані методи); ‣ 2-а програма технологічного форсайту, (Швеція)
2004	Форсайт глобальної конкуренції та розвитку інноваційних систем	‣ 8-а Японська форсайт-програма, Японія (змішані методи); ‣ "Південна Корея 2030", Південна Корея (змішані методи); ‣ Україна Програма технологічного форсайту (Дельфі); ‣ Програма FuturRIS, Франція (змішані методи); ‣ Програма AGORA, Франція (змішані методи); ‣ Програма технологічного форсайту (2-й цикл), Венесуела (змішані методи); ‣ Росія Критичні технології
2005		‣ Програма технологічного форсайту (2-й цикл), Колумбія (Дельфі); ‣ Програма Brazil 3 Moments, Бразилія (змішані методи); ‣ Програма науково-технологічного форсайту, Румунія (змішані методи); ‣ інСайт, Фінляндія (змішані методи); ‣ Програма FNR-Форсайт, Люксембург (змішані методи); ‣ Програма Рахункової палати США «Виклики 21 століття», США (змішані методи)
2006		‣ Форсайт SITRA, Фінляндія (змішані методи); ‣ Програма технологічного форсайту «Польща 2020», Польща (змішані методи); Сканування горизонтів, Великобританія (змішані методи); ‣ Наукові пріоритети , Німеччина (змішані методи); ‣ Технологічний форсайт, Нова Зеландія (змішані методи)
теперішній час	Форсайт, як інструмент політики	‣ OPTI - Майбутнє іспанської Ядерної енергетики 2030, Іспанія (змішані методи); ‣ 9-а програма Японського форсайту, Японія (змішані методи); ‣ «Дитинство 2030», Росія (змішані методи)

Складено авторами

Розділ 3
ОСОБЛИВОСТІ КОМП'ЮТЕРИЗАЦІЇ ФОРСАЙТ-ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Формалізація форсайт-прогнозування

Національні різновиди форсайт-досліджень сформувалися як унікальні сукупності методів та засобів форсайту під впливом низки чинників, які притаманні конкретним країнам. Методика проведення українського варіанту форсайт-досліджень [95] основана на комбінації методів Дельфі-опросу та критичних технологій. Авторами була проаналізована вказана методика та різні шляхи її комп'ютерної реалізації [53; 145; 147]. У результаті виявлено ряд недоліків, основними з яких є недостатній рівень формалізації та комп'ютеризації процесів (*рис. 3.1*).

Отже, для комп'ютерної реалізації форсайт-проекту з прогнозування розвитку нанотехнологій, необхідно провести його формалізацію шляхом розробки моделі, яка з відомою мірою адекватності відображає всі етапи форсайт-проекту. Прогнозування розвитку нанотехнологій будемо здійснювати шляхом вибору найбільш перспективних технологій.

Доцільність використання математичного апарату теорії автоматів зумовлена виділеними характеристиками національної форсайт-методики, наведеними в [146]. В цьому випадку система представляється у вигляді автомата, котрий переробляє дискретну інформацію і змінює свої внутрішні стани лише у визначені моменти часу [80].

Розглянемо формальне подання процедури форсайт-дослідження у вигляді скінченного автомату (СА), який задано множиною X вхідних сигналів, кінцевою множиною Y вихідних сигналів, кінцевою множиною Z внутрішніх станів, початковим станом $z_0 \in Z$; функцією переходів $g(z, x)$ та функцією виходів $v(z, x)$.

Далі будемо розглядати формальне подання форсайт-проекту у вигляді СА як результат людино-машинної взаємодії. При цьому будемо вважати, що:

Рис. 3.1 Ступінь формалізації та автоматизації національної форсайт-методики [53; 95; 145; 147]

$A = \{5, 10\}$ – множина вихідних даних;

$B1$ – $\{0;$ результат реалізації етапу$\}$, де 0 означає «аварійне переривання реалізації етапу»;

$B2$ – $\{0, 5\}$ – множина можливих звернень системи до особи, що приймає рішення (ОПР).

В даному випадку множина виходів одного етапу форсайт-дослідження може бути подана декартовим добутком $B = B1 \times B2$.

Введемо також множину «станів» автомату $Q = \{q_0, q_1, q_2\}$. Функцію переходів f: $A \times Q \rightarrow Q$ і функцію виходів h: $A \times Q \rightarrow B$ можна задати наступною таблицею:

	a = 5	a = 10		a = 5	a = 10
$f(a, q_0)$	q_1	q_2	$h(a, q_0)$	(0, 0)	(0, 0)
$f(a, q_1)$	q_2	q_2	$h(a, q_1)$	(0, 0)	(рез-т, 0)
$f(a, q_2)$	q_0	q_0	$h(a, q_2)$	(рез-т, 0)	(рез-т, 5)

Розглянемо випадок, коли на вхід автомату подано n наборів вихідних даних. Нехай A^n і B^n позначають множини наборів довжини n з елементів множини A і B відповідно. Тоді легко бачити, що для заданого початкового стану $q = q_i$ кожному $x \in A^n$ відповідає єдиний елемент $y \in B^n$. Іншими словами, ми визначили відображення S_q: $A^n \to B^n$ таке, що для всіх x з A^n образ $y = S_q(x)$ є однозначно визначеним виходом, залежним від x і початкового стану $q = q_i$. Отже, даний автомат представляється системою $S_q \subseteq A^n \times B^n$, такою, що $S = \bigcup_{q \in Q} S_q$. При цьому початковим станом автомата є q_0 – отже, даний автомат може розглядатися як функціональна система, де $q = q_0$.

Модель у формі СА може бути синтезована для найширшого класу об'єктів, і найважливішою умовою при виборі конкретної реалізації обраного типу моделі є можливість завдання причинно-наслідкового зв'язку між елементами процесу, тобто застосування подієвого підходу до моделювання [30]. Кожен автомат являє собою поведінкову одиницю (етап) національної форсайт-методики. Результати роботи автоматів подаються на вхід іншим поведінковим елементам системи національної форсайт-методики, які також реалізовані автоматами. Зв'язність і спрямованість передачі вихідних результатів як вхідних алфавітів визначається мережею. Отже, кожен етап національної форсайт-методики являє собою окремий підпроцес, який можливо представити у вигляді мережі, що управляє «включенням» власного процесу і видачею синхронізуючих подій іншим елементам мережі. Початок і завершення певного етапу служать додатковими процедурами контролю, очікування і перевірки події.

3.2. Використання формалізованих моделей комп'ютеризації форсайта при прогнозуванні розвитку нанотехнологій

Про форсайт-проекти можна говорити як про складну систему, в якій виділені елементи (методи форсайту) та їх взаємозв'язки (черговість застосування методів та обмін інформацією). Елементи – це підпроцеси, а взаємозв'язок визначається поставками і споживанням окремими підпроцесами інформації. Взаємодії (поставки і споживання ресурсів) визначаються подіями, які генеруються окремими елементами системи, тобто наша система відноситься до класу асинхронних систем [37; 90]. Події фіксують результати змін у стані елементарних підпроцесів, тобто події є синхронізаторами, ініціаторами зміни станів процесу. Взаємодія описується системою логічних рівнянь, кожне рівняння задає елементарний автомат, «зчеплений» з процесом, який запускає процес під дією сукупності подій у системі і генерує події, «що розповідають» іншим процесам про те, що відбулося при виконанні даного процесу.

Асинхронні системи задаються мережею

$$NW = \{S, E, R, I\}, \tag{3.1}$$

де $S = \{S_1, ..., S_n\}$ – кінцева множина процесів;

$E = \{E_1, ..., E_m\}$ – кінцева множина подій;

R – правила, які приписують кожному процесу S_i підмножини вхідних $E_x(S_i)$ і вихідних $E_y(S_i)$ подій r_j: $E_x(S_i)\ E_y$;

I – інтерпретація (операційна семантика), пов'язана з ініціалізацією процесів, зміною та запам'ятовуванням подій.

Зазвичай мережі задаються графом з вершинами двох видів – E та S, взаємозв'язок між подіями і процесами відображається дугами. Мережа використовується у вигляді математичної моделі асинхронної системи при переході від змістовної постановки завдання до комп'ютерної реалізації.

3.2.1. Прості мережі Петрі

Мережі Петрі (МП) застосовують для математичного моделювання і дослідження складних систем. Мета подання системи у вигляді МП і подальшого аналізу цієї мережі полягає в отриманні важливої інформації про структуру та динамічну поведінку модельованої системи, яка може використовуватися для вивчення функціонування системи і вироблення пропозицій щодо її удосконалення [86; 113]. Моделювання процесів МП здійснюється на подієвому рівні. Визначають, які дії відбуваються в системі, які стани передували цим діям і які стани прийме система після виконання дії. Реалізація подієвої моделі у формі МП описує поведінку системи. Розглянемо особливості асинхронних систем, які моделюються МП:

- кожен процес пов'язаний з процесором, цей зв'язок постійний і не змінюється під час функціонування системи;
- деякі процеси використовують загальні (що розділяються) ресурси, причому кількість ресурсів недостатня для виконання всіх процесів;
- ресурси не втрачаються за весь час функціонування системи процесів;
- ресурси «захоплюються» процесом на час його виконання і «звільняються» після закінчення роботи;
- ресурси «неподільні», не можуть бути «розпиляні» на частини і роздані потребуючим процесам.

Наведемо модель, яка описує функціонування чотирьох етапів форсайт-проекту. Кожен етап здійснює дві дії – E (передає результат роботи свого етапу на вхід іншого етапу) і P (виконує необхідні процедури свого етапу). Етап може виконувати свою роботу (P), якщо є необхідні вхідні дані цього етапу (B). Таким чином, чотири етапи форсайт-проекту являють собою асинхронну систему, дії (E і P) мають невизначену тривалість, яка може змінюватися за час функціонування системи. Послідовність дій кожного етапу форсайт-проекту описується таким чином:

- умови для «запуску» дії P – наявність вхідної інформації (B) та / або закінчення дії E;

- умови для «запуску» дії *E* – закінчення дії *P*;
- закінчення кожної дії супроводжується подіями, для *E* – подія «передав результати на вхід певного етапу», для *P* – «закінчив процедури свого етапу».
- якщо умова «запуску» дії істинна, то дія запускається;
- закінчення дії довільне, тобто не фіксоване за часом.

На *рис 3.2* наведена МП у вигляді графа з двома типами вершин: «о» – позиції і «|»– переходи. Позиції служать для зберігання інформації про події, що відбулися, а переходи відповідають діям, закінчення яких сигналізується відповідними подіями. Якщо подія відбулася, то вона відзначається фішкою у позиції. Вхідні та вихідні стрілки разом зі своїми позиціями визначають умови спрацьовування переходу.

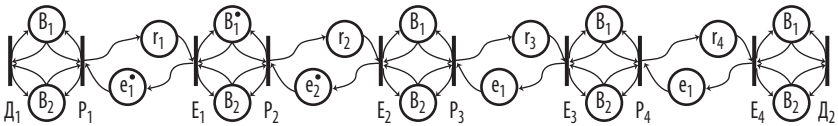

Рис. 3.2 Представлення мережою Петрі національного форсайт-проекту

На рис. 3.2 прийняті такі позначення для:

дій: $\{Д_к\}$, $i=\overline{1,2}$ – початок /закінчення форсайт-дослідження,

$\{P_i\}$, $i=\overline{1,4}$ – виконуються процедури відповідного етапу,

$\{E_i\}$, $i=\overline{1,4}$ – передача результатів дії відповідного етапу наступному;

подій: $\{r_i\}$, $i=\overline{1,4}$ – відповідний етап закінчив свої процедури,

$\{e_i\}$, $i=\overline{1,4}$ – закінчилася передача результатів роботи відповідного етапу,

$\{в_i\}$, $i=\overline{1,2}$ – вхідна інформація наявна / немає.

Суттєвим недоліком застосування МП є також їх використання як мови програмування. Крім того, у МП немає також однозначної послідовності виконання дій, оскільки початкова теорія представляє нам мову для опису паралельних процесів.

3.2.2. Мережі з накопиченням подій

Мережа з накопиченням подій – різновид МП [113]. У концепції МП вважається, що вміщення в накопичувач фішок та їх вилучення з накопичувача розділені, тобто вилучення фішок відповідає стиранню події. Для представлення національного форсайт-дослідження цим різновидом мереж, крім описаних вище дій у форсайт-проекті, додаємо накопичення звітів кожного етапу для друку. На *рис. 3.3* наведено мережу з накопиченням подій форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії.

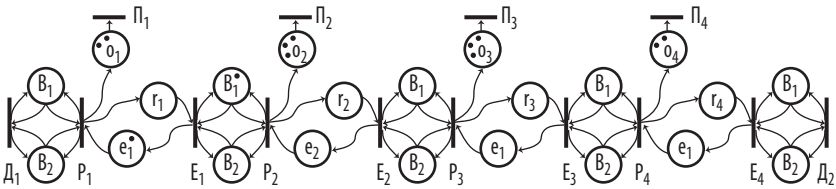

Рис. 3.3. Форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії у вигляді мережі з накопиченням подій

Представлена на рис. 3.3 модель форсайт-дослідження містить окрім елементів, що подані на рис. 3.2, множину дій $\{П_i\}$, $i=\overline{1,4}$ – друк звітів *i*-го етапу, при цьому друк працює до тих пір, поки в наявності є звіти; та множину подій $\{o_i\}$, $i=\overline{1,4}$ – які відображають накопичення звітів *i*-го етапу для друку. Відповідні події (фішки) накопичуються у спеціальній пам'яті (накопичувачі, де події не знищуються).

В реальності нескінченно ємних накопичувачів не буває, обсяг їх обмежений, а саме сховище має деяку структуру. В цьому випадку концепція МП не працює і треба створювати нові конструкції мереж зі складною структурою подій і переходів.

3.2.3. Мережі з розпізнавальними предикатами

Мережа з розпізнавальними предикатами (МРП) формально задається графом в нотації МП, але інтерпретація умов запуску процесу і генерації подій може бути недетермінованою функцією і, таким чином, асинхронне

управління процесами також може бути недетермінованим [191]. Національне форсайт-дослідження, яке представлене цим різновидом мереж, наведено на *рис. 3.4*.

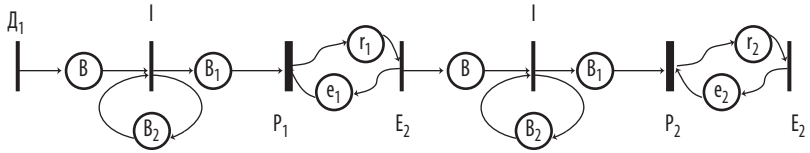

Рис. 3.4. Перші два етапи форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії у вигляді МРП

Процес I обчислює розпізнавальний предикат, який реагує на події, що відбуваються в системі. Для кожної позиції визначають предикат

$$P = \begin{cases} 1, \text{ якщо подія відбулася і перебуває в пам'яті позиції,} \\ 0, \text{ якщо подія відсутня і вона видалена з пам'яті позиції.} \end{cases}$$

Тут події $\{в_j\}, j = \overline{1,2}$ – наявність /відсутність вхідної інформації не можуть бути одночасно істинними або помилковими, тобто вони не можуть разом існувати або разом бути стертими з пам'яті позицій. Недетермінованість полягає в довільності подій $\{в_j\}, j = \overline{1,2}$. Події $\{r_i\}, j = \overline{1,4}$ і $\{e_i\}, j = \overline{1,4}$ є синхронізуючими, також є синхронізуючою додатково введена подія В – вхідна інформація, а події $\{в_j\}, j = \overline{1,2}$ є тригерними.

3.2.4. Обчислювальні мережі

Обчислювальні мережі (ОМ) являють собою розподілене обчислювальне середовище, яке представляється рядом логічних рівнів, на кожен з яких покладено одне із завдань мережі [23]. Побудуємо модель у формі ОМ для першого з етапів національного форсайт-дослідження (*рис. 3.5*).

Інтерпретація ОМ, наведеної на рис. 3.5.

1. Процеси:

B_1, B_2 – запис вхідної інформації (x_1, x_2) в модель обчислень, де x_1 – параметр, що задає мінімальний рівень помилки експертизи, x_2 – початковий перелік експертів.

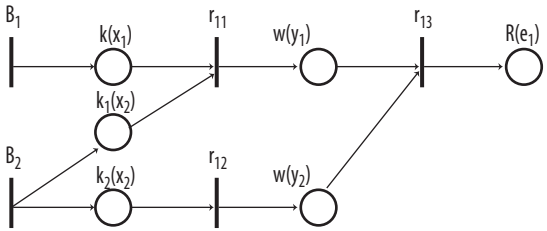

Рис. 3.5. Перший етап національного форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії у вигляді обчислювальної мережі, яка керує обчисленнями

r_{11}, r_{12}, r_{13} – процеси, що обчислюють відповідні функції, а саме r_{11} – визначення чисельності експертної групи, r_{12} – визначення рівня компетентності експертів, r_{13} – формування остаточного перелику експертів, які беруть участь у форсайт-дослідженні.

2. Події:

$k(x_1)$ – значення x_1 для обчислення r_{11} підготовлено, $k_1(x_2)$ – значення x_2 для обчислення r_{11} підготовлено, $k_2(x_2)$ – значення x_2 для обчислення r_{12} підготовлено;

$w(y_1)$ – значення y_1 (чисельність експертної групи) обчислено і підготовлено для r_{13}, $w(y_2)$ – значення y_2 (оцінений рівень компетентності експертів) обчислено і підготовлено для r_{13};

$R(e_1)$ – значення y_1 і y_2 обчислені (остаточний перелік експертів сформовано).

Слід зазначити, що у всіх позиціях у початковий момент часу відмітки про події відсутні (значення відповідних змінних рівні «0» – «неправда»). В результаті виконання ОМ у всіх позиціях відмітки про події зберігаються, вони не стираються. Це характерно тільки для системи функцій, яка визначається кінцевим числом підстановок, тобто обчислювальна модель у вигляді ОМ не має циклів.

3.2.5. Самосинхронізуючі мережі

Самосинхронізуюча мережа (СМ) складається з набору дій (відповідних їм процесів) і подій, які дозволяють виконання цих дій. Події генеру-

ються після виконання кожної дії і, в залежності від необхідності, гасяться або залишаються в пам'яті позицій мережі [29]. Самосинхронізація розуміється як асинхронне управління процесами за допомогою умов (подій), що виникають тільки всередині системи. Нижче наведено СМ національного форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії (*рис. 3.6*).

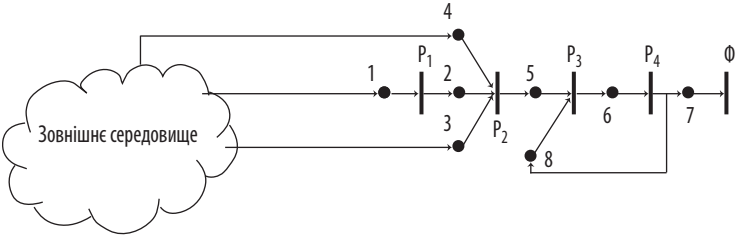

Рис. 3.6. Модель процесу національного форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії у вигляді СМ

Інтерпретація СМ, наведеної на рис. 3.6:

1. Процеси:

P_1 – формування експертних панелей;

P_2 – формування вихідного переліку ТН;

P_3 – оцінка та уточнення переліку ТН;

P_4 – узгодження та затвердження пріоритетів розвитку наноіндустрії;

Ф – форсайт-дослідження закінчилося.

2. Події:

1 – перелік експертів отримано;

2 – сформований остаточний перелік експертів, що беруть участь в форсайт-дослідженні;

3 – отримано перелік ТН;

4 – отримана система критеріїв оцінки ТН;

5 – сформовано вихідний перелік ТН;

6 – сформовано перелік пріоритетних ТН;

7 – перелік пріоритетних ТН узгоджено та затверджено;

8 – перелік пріоритетних ТН не узгоджено.

СМ відрізняється від ОМ тим, що асинхронна взаємодія реалізується за допомогою довільних булевских функцій від подій-синхронізаторів.

3.2.6. Агентні мережі

Процеси в агентних або в асинхронних перетворюючих мережах (АПМ) пов'язані з перетворенням енергії або інформації. Представимо у формі АПМ національне форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії [21; 29]. Кожен етап представлено спеціальним процесором, на вхід якого подаються об'єкти одного типу, а на виході, в результаті обробки, – об'єкти іншого типу (*рис. 3.7*).

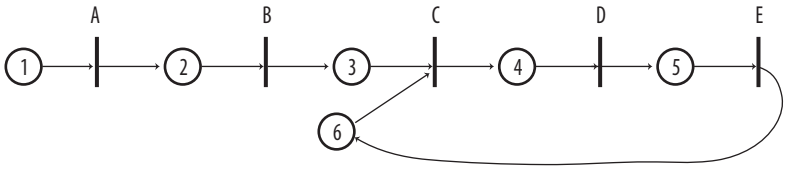

Рис. 3.7. Подання форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії у вигляді АПМ

Модель у формі АПМ, що наведена на рис. 3.7, має у своєму складі такі компоненти: *A, B, C, D* – це етапи процесу форсайт-дослідження, а *E* – закінчення форсайт-дослідження. При цьому події мають такий зміст:

1 – перелік експертів отримано;

2 – сформований остаточний перелік експертів, що беруть участь у форсайт-дослідженні;

3 – сформовано вихідний перелік ТН;

4 – сформовано перелік пріоритетних ТН;

5 – перелік пріоритетних ТН узгоджено та затверджено;

6 – виникли певні сумніви – перелік пріоритетних ТН не узгоджено.

Для агентних мереж характерно, що кожен процес виконується окремим спеціалізованим процесором. Процесори не є ресурсами, що розділя-

ються. Кожен агент може виконувати два типи дій: реалізовувати деякий фізичний або інформаційний (обчислення значень) процес і обмінюватися повідомленнями з іншими об'єктами. Повідомлення необхідні для управління діями агентів і повинні містити інформацію двох типів: значення характеристик (змінних) процесу, що приходять від інших агентів, і події про зміни в діях агента.

3.2.7. Пропозиційні мережі

Пропозиційна мережа (ПМ) або мережа, яка розмірковує, описує умови виконання дій та їх взаємозв'язок за допомогою тверджень (висловлювань) типу: «Якщо І (вислів) = істина, то роби Д (дія)» [129].

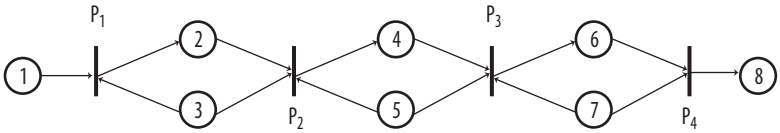

Рис. 3.8. ПМ форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії

Опишемо елементи ПМ, які наведено на рис. 3.8.

Дії: $\{P_i\}, i=\overline{1,4}$ – етапи національної форсайт-методики розвитку наноіндустрії. Події процесу: 1 – перелік експертів отримано, 2, 4, 6, 8 – відповідний етап закінчив свої процедури, 3, 5, 7 – закінчилася передача результатів роботи відповідного етапу.

Створена мережа описується наступними правилами:

1. Якщо перелік експертів отримано, то можна розпочинати перший етап форсайт-дослідження.
2. Якщо перший етап форсайт-дослідження закінчив свою роботу та закінчилася передача другому етапу вхідних даних, то можна почати роботу другого етапу.

Пункт два повторюється для кожного з етапів.

Якщо сеанс форсайт-дослідження закінчено, то можна почати нове.

В умову спрацьовування функцій крім значень вхідних подій включені і вихідні події.

3.3. Синтез моделі реалізації форсайт-досліджень щодо прогнозування розвитку наноіндустрії у формі Joiner-мережі

Критичний огляд, наведений у 3.2, свідчить про принципову можливість подання мережевими моделями процесу форсайт-дослідження, зокрема перспектив розвитку нанотехнологій. Поряд із цим зрозуміло, що для реалізації будь-якої мережевої моделі, яку розглянуто вище, необхідно здійснення в ручному режимі набору спеціальних процедур щодо введення додаткових даних для організації однозначного виконання етапів, що загалом суттєво ускладнить комп'ютерну реалізацію розроблюваної моделі форсайту. Вищеозначені різновиди мереж не надають змогу адекватно подати характерні риси форсайт-дослідження. Виходячи із цього, доцільним є використання апарату Joiner-мереж (ДМ), який є розширенням МП і відрізняється наявністю спеціальних пускових і прапорових функцій, що формуються шляхом довільних булевих функцій і дозволяють описати логіку роботи мережі [27; 76]. До форми ДМ можуть бути приведені практично всі існуючі мережеві парадигми. Цим досягається простота і стандартність опису взаємодії процесів у вигляді сукупності простих автоматів.

3.3.1. Моделювання ДМ переходів поміж етапами національного форсайт-дослідження перспектив розвитку наноіндустрії

Кожен автомат являє собою поведінкову одиницю, яка відображує конкретний етап національної форсайт-методики [54]. Результати роботи цих автоматів використовуються як вихідні дані для інших автоматів у складі ДМ. Механізм синхронізації, який забезпечує зв'язність і спрямованість передачі вихідних результатів в якості вхідних алфавітів, визначається ДМ.

Основне призначення ДМ [76; 137] – моделювання систем, що складаються з множини взаємодіючих між собою процесів. ДМ представляють у вигляді спрямованого графу

$$JN = < \Phi, \Psi \subseteq (\Phi \times \Phi) > \qquad (3.16)$$

де $\Phi = \{\varphi_1,..., \varphi_i ..., \varphi_n\}$ – множина позицій $\varphi_i \in \Phi$, що фіксує акт виникнення $(\varphi_i = 1)$ і зняття $(\varphi_i = 0)$ події на етапі національної форсайт-методики;

Ψ_i – булевська пускова функція для кожного i-го етапу національної форсайт-методики, при цьому $\Psi_i\{\varphi_1,..., \varphi_j ..., \varphi_m\} = \varphi_i$, де $\{\varphi_1,..., \varphi_j ..., \varphi_m\}$ – множина вихідних позицій, φ_i – вихідна позиція.

Зв'язування Joiner-елемента в мережу відбувається ототожненням ($\equiv$) вихідної події φ_i та вихідних подій других елементів (наприклад $\varphi_i \equiv \varphi_1$, $\varphi_i = \varphi_j$, а передача збудження через елемент для мережі підпорядковується наступному правилу: пускова функція спрацьовує $(\Psi = 1)$ та збуджується подія φ_i, якщо відбулася хоча б одна подія (φ_1 або φ_k, але не обидва разом) і вихідна позиція порожня $(\varphi_i = 0)$.

Інтерпретуючи дані поняття з позицій теорії автоматів, кожен автомат може бути заданий четвіркою об'єктів:

$$A = < \Psi, \varphi, P, R >, \qquad (3.17)$$

де $P(p_1,..., p_n)$ – множина вхідних і вихідних позицій;

$\Psi(p_1,..., p_n)$ – пускова функція, визначає умови запуску переходу і відповідного йому підпроцесу (етапу національної форсайт-методики). $\Psi(p_1,..., p_n)$, де значення позиції $p_i = 1$ – відповідна подія виникла, $p_i = 0$ – подія не виникла або була «стерта» з пам'яті позиції;

$\varphi(p_1,..., p_n)$ – прапорова функція, яка задає нові значення всім позиціям (вхідним і вихідним) після закінчення процесу;

$R(r_1,..., r_n)$ – регістр пам'яті позицій, де запам'ятовуються значення $\{0,1\}$, що сигналізують про виникнення (невиникнення) відповідних подій.

Робота елементарного автомата задається булевськими рівняннями для кожного переходу S:

$$S: \Psi(p_1(t), ..., p_n(t)) \rightarrow \varphi(p_1(t+1) := \{0,1\}, ..., p_n(t+1) := \{0,1\}) \quad (3.18)$$

Система логічних рівнянь, зіставлених кожному переходу S_i, $(i = \overline{1,k})$ між етапами національної форсайт-методики, задає мережу автоматів, яка виходить ототожненням відповідних позицій цих автоматі.

$$\begin{cases} S_1 : \psi_1(P_1(t)) \to \varphi_1(P_1(t+1)) \\ S_2 : \psi_2(P_2(t)) \to \varphi_2(P_2(t+1)) \\ \ldots \\ S_k : \psi_k(P_k(t)) \to \varphi_k(P_k(t+1)) \end{cases}. \qquad (3.19)$$

Автомат запускає підпроцес, якщо вектор позицій $P(t)$ відповідає $\psi = 1$, а по закінченні його роботи зміна вектора $P(t+1)$ відбувається відповідно до прапорової функції.

Кожен етап національної форсайт-методики являє собою окремий підпроцес і може бути поданий у вигляді мережі, яка управляє «включенням» власного процесу і видачею синхронізуючих подій іншим елементам мережі [54]. Початок S_0 і завершення S_p певного етапу служать додатковими процедурами контролю, очікування і перевірки події $(\psi = 1)$, а S_P – робоча фаза процесу. Події $\psi = 1$ – процес запущений і $P = 1$ виконання процесу завершено, контролюють початок і кінець етапу як процесу і є внутрішніми для переходу. Подія φ_{S_0} фіксує момент закінчення процедури очікування і включення робочої фази процесу (S_P).

На *рис. 3.9* наведена внутрішня структура будь-якого з етапів національної форсайт-методики у вигляді ДМ. Початок етапу – S_0, а подія $\psi = 1$ контролює початок етапу S_0. Закінчення етапу S – S_P, а подія $P = 1$ контролює його закінчення.

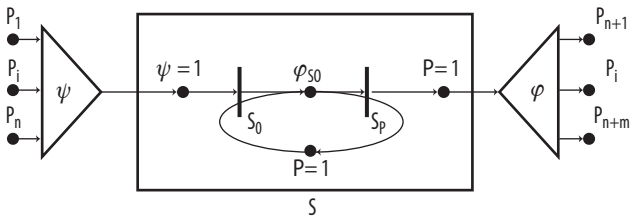

Рис. 3.9. Внутрішня структура етапу національної форсайт-методики у вигляді ДМ

3.3.2. Модель вибору пріоритетів національного форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії у вигляді ДМ

Національну форсайт-методику будемо розглядати як систему оперативного обміну інформацією між її етапами $\{D_i\}$, $i=\overline{1,4}$. При цьому безпосередньо обмін інформацією задається системою рекурентних співвідношень:

$$\begin{aligned} x_1(t+1) &= f_1(x_2(t), x_4(t)) \\ x_2(t+1) &= f_2(x_1(t), x_3(t)) \\ x_3(t+1) &= f_3(x_2(t), x_4(t)) \\ x_4(t+1) &= f_4(x_1(t), x_3(t)) \end{aligned}. \qquad (2.20)$$

де $\{x_i\}$, $i=\overline{1,4}$ – дані в системі;

$\{f_i\}$, $i=\overline{1,4}$ – програми, що реалізують функції, які обробляють власну і отриману від іншого етапу інформацію.

На *рис. 3.10* показана ДМ одного з етапів.

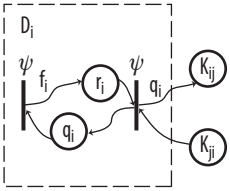

Рис. 3.10. ДМ етапу Di національної форсайт-методики

В ДМ кожен етап пов'язаний із сусіднім через канал зв'язку, при цьому канал задається парою подій (K_{ij}, K_{ji}), що визначають наявність в каналі інформації для одного з етапів. Канал вільний, якщо значення K_{ij} і K_{ji} дорівнюють нулю. Описана ДМ, відображає інформаційну взаємодію усіх чотирьох етапів національної форсайт-методики [54]. В розгорнутому вигляді ця модель показана на *рис. 3.11*.

На кожному етапі робота з інформацією організована таким чином:

1. Перевіряється наявність інформації, призначеної для даного етапу в одному з каналів.

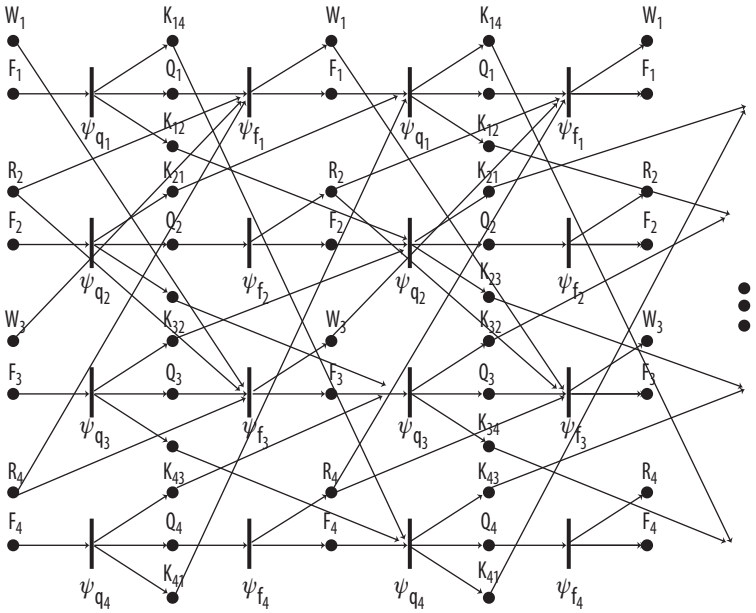

Рис. 3.11. Національна форсайт-методика у вигляді розгорнутої ДМ

2. Коли інформація є – вона зчитується і надходить на обробку.
3. По закінченні обробки перевіряється, чи вільні канали. У разі, якщо канали вільні, запускається процес передачі власної інформації на вхід наступного етапу.

3.4. Узагальнене подання методичного підходу до реалізації національних форсайт-проектів в Україні

Відповідно до матеріалів, які наведено у [52], методичний підхід до реалізації форсайт-проектів в Україні містить такі кроки:

1. Формування експертних панелей.

1.1. Оцінка рівня компетентності кожного експерта.

1.1.1. Розрахунок узагальненого показника рівня компетентності кожного експерта.

1.2. Ранжування експертів згідно зі значенням їх узагальненого показника рівня компетентності.

1.3. Визначення чисельності експертної групи.

1.4. Формування остаточного списку експертів, що беруть участь в експертизі.

1.5. Формування бази даних (БД) експертів.

2. Формування вихідного переліку ТН розвитку наноіндустрії.

2.1. Формування переліку ТН.

2.1.1. Застосування методу підрахунку кількості публікацій (бібліометричний аналіз) для формування переліку ТН.

2.1.2. Застосування методу цитатного аналізу (наукометричний аналіз) для формування переліку ТН.

2.1.3. Аналіз кривих динаміки винахідницької активності по кожному науково-технічного напрямку (патентний аналіз) для формування переліку ТН.

2.2. Затвердження вихідного переліку тематичних напрямів.

2.3. Розрахунок значень критеріїв оцінки по кожному з переліку ТН.

2.3.1. Розрахунок значень кількісних критеріїв оцінки ТН.

2.3.2. Отримання значень якісних критеріїв оцінки ТН.

3. Оцінка та уточнення переліку ТН.

3.1. Оцінка ТН методом Парето-оптимальності.

3.1.1. Приведення значень всіх функцій до одного інтервалу.

3.1.2. Вибір пріоритетних ТН по відношенню Парето.

3.2. Оцінка ТН методом *t*-впорядкування для звуження області Парето.

3.2.1. Формування множини Парето з ТН, які не можуть бути порівняні між собою.

3.2.2. Вибір пріоритетних ТН за методом *t*-впорядкування.

3.3. Формування списку пріоритетних напрямів розвитку наноіндустрії.

4. Узгодження та затвердження пріоритетних напрямів з Науково-технічною Радою.

Наведений вище методичний підхід до реалізації форсайт-проектів в Україні у загальному вигляді показано на *рис. 3.12*.

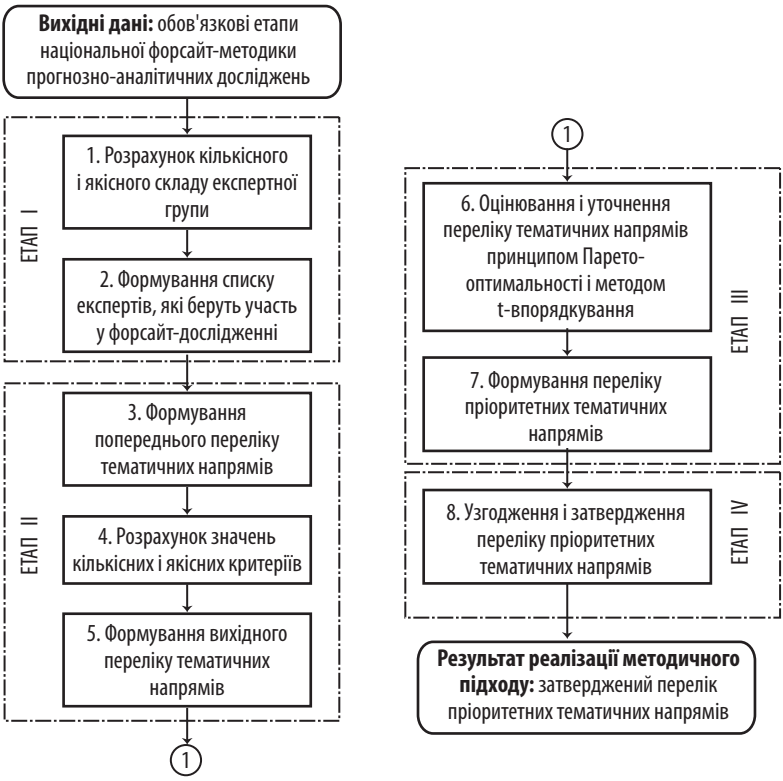

Рис. 3.12. Схема методичного підходу до реалізації форсайт-проектів в Україні

Вхідними даними методичного підходу є: список можливих експертів дослідження, БД ТН, БД критеріїв оцінки ТН, ординальна інформація про ступінь переваги критеріїв оцінки ТН.

На *першому етапі* виробляються такі операції як розрахунок необхідного числа експертів дослідження і узагальненого показника рівня компетентності кожного експерта на підставі коефіцієнтів, що відображають як рівень професійної підготовки, так і особисті якості експерта. Далі експерти ранжуються за значенням узагальненого показника рівня їх компетентності і формується остаточний список експертів з урахуванням чисельності експертної групи. Після закінчення даного етапу формується БД експертів, в яку заноситься особиста інформація про експерта (ПІБ, паспортні дані), дані про рівень компетенції (значення узагальненого показника рівня компетентності і розрахованих коефіцієнтів), а також ранг експера.

В рамках *другого етапу* відбувається формування вихідного переліку ТН і розрахунок значень критеріїв їх оцінки. Для формування вихідного переліку ТН вноситься інформація про кількість наукових публікацій, цитувань і патентів по кожному ТН з вхідної БД ТН. На підставі внесених даних проводиться ранжування ТН за допомогою методів підрахунку кількості публікацій, аналізу цитування та аналізу кривих динаміки винахідницької активності. Після – затвердження вихідного переліку, до якого не входять ТН, що отримали найгірші значення по всім трьом методам, і занесення затверджених ТН в БД. Далі проводиться розрахунок значень, що містяться в БД критеріїв оцінки, кількісних критеріїв по кожному ТН. Потім шляхом анкетування експертів отримуємо попередні значення якісних критеріїв оцінки ТН. Після цього проводиться узгодження думок експертів. У разі неузгодженості – роблять повторне анкетування. Далі проводиться розрахунок агрегованої оцінки кожного ТН по кожному з якісних критеріїв, і, в підсумку, занесення в БД затверджених ТН значень якісних і кількісних критеріїв по кожному з них. Результатом даного етапу є БД затверджених ТН, що мають кількісні значення по кожному з критеріїв їх оцінки.

На *третьому етапі* відбувається обробка результатів, отриманих на попередньому етапі, з урахуванням ординальної інформації про ступінь переваги критеріїв оцінки ТН. Проводиться порівняння затверджених ТН за допомогою методу Парето-оптимальності. Коли порівняння ТН по Парето неможливе, застосовують метод *t*-впорядкування, що враховує орди-

нальну інформацію про ступінь переваги критеріїв оцінки ТН. В результаті отримуємо ранжований перелік пріоритетних напрямків НТР.

Четвертий етап служить для узгодження і затвердження пріоритетних напрямків НТР, отриманих на попередньому етапі. На даному етапі складається документ, що являє собою підсумковий звіт, в який входять результати попередніх етапів, а саме: список експертів, що беруть участь в експертизі, перелік вихідних ТН зі значеннями за кожним критерієм їх оцінки та ранжований перелік пріоритетних напрямків НТР. У разі позитивного узгодження формується документ з переліком затверджених пріоритетних напрямків НТР. В іншому випадку, згідно з регламентом національної форсайт-методики [95], уточнюють вхідну інформацію для ІТ та, при необхідності, вносять корегування, при цьому формується документ з рекомендаціями для повторного дослідження.

Отже, *вихідними даними* методичного підходу є документ, що містить перелік затверджених пріоритетних напрямків НТР. Детальний опис методів розробленого методичного підходу наведено в наступних розділах.

Розділ 4
МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ ПАНЕЛЕЙ В НАЦІОНАЛЬНОМУ ФОРСАЙТ-ДОСЛІДЖЕННІ РОЗВИТКУ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

4.1. Огляд методів формування панелей експертів

На етапі формування складу експертної групи необхідно вирішити такі задачі: обґрунтування кількісного (визначаються межі чисельного складу групи експертів) та якісного складу групи експертів.

Спрощені способи складання списку фахівців-кандидатів, що не мають якихось серйозних формально-кількісних обґрунтувань, будуються, виходячи лише з принципів існуючих адміністративних взаємозв'язків і передбачуваної функціональної придатності фахівців. До них, наприклад, можуть бути віднесені такі способи, як: метод призначень, «телефонний» метод, метод взаємних рекомендацій, метод послідовних рекомендацій, метод висунення науковими колективами, документаційний, тестування та ін. [130; 131]. Як правило, в рамках таких процедур одночасно здійснюється обґрунтування як кількісного, так і якісного складу групи.

Визначення верхньої та нижньої меж чисельності спеціалістів, що входять до групи експертів, може будуватися на основі вимог, які пред'являються до фахівців у даній галузі [119; 132]. З одного боку, кількість осіб, що входить до експертної групи, має бути такою, щоб задовольнялося умова достатньої середньої компетентності по групі $k(n) \geq K$, де K – усереднений мінімально допустимий рівень компетентності по групі в цілому (може іноді визначатися в частках від максимально можливого (K_{max}), наприклад, $K = 0{,}85K_{max}$; $k(n)$ – середній рівень компетентності на n-й ітерації процедури, тобто при включенні до групи n-го експерту, $k(n) = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_i}{n}$, де k_i – коефіцієнт компетентності i-го експерту.

Однак наведена умова не є достатньою для однозначного визначення чисельності групи експертів, оскільки при цьому має дотримуватися умова стійкості середньогрупової думки. З метою встановлення цього факту проводиться додаткове тестове дослідження, покликане ітеративно відшукати таку множина з s експертів, щоб виконувалась наступна нерівність $\frac{|M(s)-M(s\pm1)|}{M(s)}\leq\varepsilon$, де $M(s)$ – середнє значення тестової оцінки, що видається групою з s експертів, а $M(s \pm 1)$ – нове середнє значення при включенні або виключенні у вихідну групу однієї людини. Тобто s визначає таку кількість фахівців, коли включення або виключення людини з експертної групи не впливає на загальну групову оцінку.

Отже, виходячи з даного обґрунтування, остаточно кількість осіб в групі може бути визначена з умови $\max\{n_{\min}, n^*, s\}$, де нижня межа чисельності групи може задаватися директивно, наприклад, з досвіду або нормативу, а може виходити з використання якихось рекомендованих [118] емпіричних формул розрахунку мінімального числа експертів, наприклад $n_{\min}=0{,}5\left(\frac{3}{\varepsilon}+5\right)$.

Після визначення чисельності експертної групи адміністрація експертизи приступає до безпосереднього підбору її складу [32; 49; 60 – 62; 91]. Склад експертної групи визначається одним з таких методів.

Коефіцієнт компетентності експерта на основі результатів його минулої діяльності. Індивідуальна апріорна оцінка компетентності проводиться за формулою [61]

$$Q_q=\frac{N_c}{N}, \tag{4.1}$$

де N_c – число випадків, в яких прогноз, проведений даним експертом, визнаний вдалим (була отримана точна оцінка);

N – число випадків участі в експертизі.

Інтегральна оцінка коефіцієнта компетентності на основі документаційного підходу [49] може здійснюватися таким чином:

$$Q_i = 0,5\left(\frac{\sum_{j=1}^{m} k_j}{\sum_{j=1}^{m} k_j^{\max}} + \frac{q}{q^{\max}}\right), \qquad (4.2)$$

де k_j – документально підтверджена оцінка фахівця з його *j*-ої характеристики;

k_j^{max} – максимально можлива оцінка за *j*-ою характеристикою;

q – самооцінка фахівця з проблеми в цілому;

$q^{\max}$ – максимально можлива оцінка з проблеми в цілому.

Оцінка компетентності експерта на основі коефіцієнта несуперечності (Q_c). Одним з істотних вимог до «якісного» експерта є виконання властивостей стабільності і транзитивності його оцінок в часі [119]. Як критерій ефективності оцінювання такого роду пропонується використовувати коефіцієнт несуперечності (спільності). Коефіцієнт несуперечності вказує частку несуперечливих тверджень щодо максимально можливого числа протиріч, які можуть бути допущені експертом при роботі на заданій множині альтернатив вибору. В загальному вигляді його можна представити таким чином:

$$Q_c = 1 - d/d_{max}, \qquad (4.3)$$

де d – кількість висловлених експертом суперечливих суджень у відповідній експертизі;

d_{max} – максимально можлива кількість суперечливих суджень у відповідній експертизі.

Даний спосіб застосовний на основі аналізу результатів як минулої, так і поточної діяльності суб'єкта в якості експерта з проблеми.

Оцінка вектора компетентності експертів на основі методу зважених сум або середньозважених. Розглянемо цей метод на прикладі вибору з декількох експертів. Пропонується використовувати такі критерії та шкали для оцінювання експертів [49]:

- рівень освіти: середня, середня спеціальна, вища, наявність наукового ступеня кандидата наук, наявність наукового ступеня доктора наук (1 – 5 балів відповідно, крок 1 бал);
- досвід роботи за профілем предметної області: відсутній, від 1 до 3 років, від 3 до 5 років, від 5 до 10 років, від 10 до 20 років, понад 20 років (0 – 5 балів відповідно, крок 1 бал);
- здатність вирішувати творчі завдання і досвід участі в експертному оцінюванні: відсутня, низька, середня, вище середнього, висока (1 – 5 балів відповідно, крок 1 бал);
- адміністративна та економічна незалежність у даній сфері: повна незалежність, знайомий з роботою організації, працює в тій же організації, але безпосередньо не впливає на прийняття рішень, безпосередньо в ході виконання своїх організаційних функцій пов'язаний з організацією, працює в тому ж органі прийняття рішення (5 – 1 бал відповідно, крок 1 бал).

Усереднення критеріїв оцінки експертів здійснюється на рівні власних векторів матриць парних порівнянь *E* (*табл. 4.1*).

Таблиця 4.1

Критерії оцінки експерта та їх вага

Критерії оцінки експерта	Професіональний рівень	Досвід роботи за профілем	Незалежність суджень	Творчий підхід до вирішення проблем і досвід участі в експертному оцінюванні	W
Професійний рівень	3	1	3	5	0,536
Досвід роботи за профілем	1/3	5	1	1/3	0,139
Незалежність суджень	1/5	1/5	3	1	0,088
Творчий підхід до рішення проблем і досвід участі в експертному оцінюванні	1/3	3	1/3	1	0,136

Обчислення значень вектора пріоритетів критерію *W* проводиться на підставі формули

$$EW = \lambda_{max} W, \qquad (4.4)$$

де λ_{max} – максимальне власне значення матриці *E*.

Далі пропонується заповнити матриці порівнянь по кожному з критеріїв по відношенню до експертів (наприклад, для трьох експертів – *табл. 4.2*). Через W_i, $i = \overline{1,4}$ позначені вектори пріоритетів якостей фахівців.

Таблиця 4.2

Ранжування експертів за критерієм «Професійний рівень»

Професійний рівень	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	W_i
Експерт 1	1	3	5	0,72
Експерт 2	1/3	1	3	0,18
Експерт 3	1/5	1/3	1	0,10

При проведенні попарних порівнянь користуються шкалою відносин (*табл. 4.3*).

Таблиця 4.3

Шкала відносин (ступеня значущості) якості

Ступінь значущості	Визначення	Пояснення
1	Однакова значимість	Два кандидати мають однакову за рівнем якість
2	Деяке переважання значущості якості одного фахівця над іншим (слабка значущість)	Різниця в рівні якості кандидатів дорівнює одному балу
3	Істотна або сильна значимість	Різниця в рівні якості кандидатів дорівнює двом балам
4	Очевидна або дуже сильна значимість	Різниця в рівні якості кандидатів дорівнює трьом балам
5	Абсолютна значимість	Різниця в рівні якості кандидатів дорівнює чотирьом балам
Зворотні величини наведених вище ненульових величин	Якщо якістю кандидата *i* при порівнянні з якістю кандидата *j* приписується одне з визначених вище ненульових чисел, то якістю кандидата *j* при порівнянні з якістю кандидата *i* приписується зворотне значення	Якщо узгодженість якостей була постулірована при отриманні *N* числових значень для утворення матриці

Значення елементів результуючого вектора пріоритетів експертів розраховуються за формулою

$$W_e = [W_1, W_2, W_3, W_4] \times W,$$

де W_1, W_2, W_3, W_4 – вектори ваг критеріїв (якостей експертів).

Наприклад, для розглянутого набору критеріїв отримали:

$$W = \{0{,}672;\ 0{,}218;\ 0{,}110\}.$$

Аналіз значень елементів отриманого вектора показує, що відповідно до розглянутих критеріальних оцінок найкращим є перший експерт, його думка по сукупності якостей більш компетентна, і остаточне рішення слід приймати відповідно з його думкою.

4.2. Формування експертних панелей національного форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії

Огляд засобів роботи з експертами, який було проведено в 4.1, дозволив вибрати процедури для розрахунку кількісних та якісних показників експертних груп, що визначає якість майбутнього прогнозу.

Для проведення якісної експертизи необхідно вирішити наступні завдання:

- визначити чисельність експертної групи;
- оцінити рівень компетентності експертів;
- сформувати остаточний перелік експертів.

Як критерій оцінки необхідного числа експертів, для вирішення першої з поставлених задач будемо застосовувати наступну емпіричну формулу [118]:

$$N_{\min} = 0{,}5(3/\varepsilon + 5), \qquad (4.5)$$

де $n_{\min}$ – мінімально необхідне число експертів;

ε – параметр, що задає мінімальний рівень помилки експертизи $(0 < \varepsilon \le 1)$.

При допустимій помилці експертного аналізу в 5 % $(\varepsilon = 0{,}05)$ кількість експертів має бути не менше 32. Такий підхід передбачає, що компетент-

ність експертів приблизно однакова. У нашому ж випадку, коли компетенція експертів буде визначена, їх кількість для групового оцінювання повинна бути не менше 7 – 9 осіб [25; 126]. Отже, число експертів, що беруть участь в прогнозуванні знаходиться в межах $7 \le N \le 32$.

При оцінці рівня компетентності кожного експерта необхідно враховувати як його професійну діяльність, так і особисті якості. Скористаємося наведеним в [32] розрахунком узагальненого показника рівня компетентності (K_i) кожного i-го експерта з множини експертів Q, тобто з попереднього списку та враховуючому вищевказані вимоги:

$$K_{\text{i}} = \frac{1}{v}\sum_{j=1}^{v} K_{ij},\ i=\overline{1,m};\ j=\overline{1,v}, \tag{4.6}$$

де K_{i1} – коефіцієнт, що відображає рівень професійної підготовки та інформованості i-го експерта (приймає такі значення як доктор наук, кандидат наук і т. п. і вимірюється в балах $0{,}5 \le K_{i1} \le 1$);

K_{i2} – коефіцієнт, що відображає рівень базової аргументації i-го експерта при прийнятті ним рішення (приймає такі значення як інтуїція, виробничий досвід, теоретичний аналіз і пр. та вимірюється у балах $0{,}05 \le K_{i2} \le 1$);

K_{i3} – коефіцієнт, який відбиває особисті якості i-го експерта, і який вираховується на основі самооцінки ($0 \le K_{i3} \le 1$):

$$K_{i3} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} K_{i3_j}, \tag{4.7}$$

де K_{i3_j} – коефіцієнт, який відображає самооцінку i-го експерта по наявності у нього j-ої особистої якості;

n – кількість особистих якостей експерта;

K_{i4} – коефіцієнт, який відбиває особисті якості i-го експерта, і який вираховується колегами експертами($0 \le K_{i4} \le 1$):

$$K_{i4} = \frac{1}{n \cdot m}\sum_{l=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} K_{i4_{jl}}, \tag{4.8}$$

де $K_{i4_{j1}}$ – коефіцієнт, даний l-м експертом про наявність j-го особистого якості у і-го експерта;

n – кількість особистих якостей експерта;

m – кількість експертів, що беруть участь в оцінці i-го експерта).

Для розрахунку коефіцієнтів K_{i3} і K_{i4} використовуємо наступний перелік особистих якостей експертів:

1) прагнення до професійного зростання і постійного підвищення кваліфікації як у своїй області, так і в суміжних областях;
2) здатність оперативно оцінювати ситуацію і приймати ефективні рішення;
3) здатність своєчасно реалізовувати прийняті рішення;
4) вміння створювати в робочому колективі нормальний психологічний клімат;
5) дисциплінованість і організованість.

На заключному етапі процедури формування експертних панелей складається остаточний список експертів. Для цього всіх експертів, які пройшли атестацію, ранжують згідно з рівнем їх компетентності (значенням узагальненого показника K_i) та відповідно до відношення (4.5) формується список експертів, що беруть участь в експертизі.

Розділ 5
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ФОРМУВАННЯ ВИХІДНОГО ПЕРЕЛІКУ ТЕМАТИЧНИХ НАПРЯМІВ У НАЦІОНАЛЬНИХ ФОРСАЙТ-ДОСЛІДЖЕННЯХ РОЗВИТКУ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

5.1. Методи отримання кількісних експертних оцінок

5.1.1. Метод лотерей

Відповідно до цього методу для будь-якої трійки альтернативних варіантів x_1, x_2, x_3 упорядкованих у порядку спадання за перевагою, експерт вказує таку ймовірність p, при котрій альтернативний варіант x_2 рівноцінний лотереї, при якій альтернативний варіант x_1 зустрічається з ймовірністю p, а альтернативний варіант x_3 зустрічається з ймовірністю $1 - p$ [108].

На підставі послідовної оцінки порівняльної переваги деякого числа трійок альтернативних варіантів розраховуються числа $w_1, w_2, \ldots, w_n$ за допомогою яких формується лінійна функція корисності виду:

$$w_1 p_1 + w_2 p_2 + \ldots + w_n p_n, \tag{5.1}$$

де $p_1, p_2, \ldots, p_n$ – ймовірності, з якими розглядаються альтернативні варіанти $x_1, x_2, \ldots, x_n$.

Ця формула дозволяє порівнювати за перевагою різні лотереї, які характеризуються різними ймовірностями реалізації альтернативних варіантів $x_1, x_2, \ldots, x_n$.

5.1.2. Метод середньої точки

Метод використовується, коли альтернативних варіантів досить багато [112]. Якщо через $\delta(x_1)$ позначимо оцінку першого альтернативного варіанту значення показника, щодо якого визначається порівняльна перевага об'єктів, через $\delta(x_2)$ – оцінку другого альтернативного варіанту, то далі експерту пропонується підібрати третій альтернативний варіант x_3, оцінка

якого $\delta(x_3)$ розташована в середині між значеннями $\delta(x_1)$ і $\delta(x_2)$ і дорівнює $(\delta(x_1) + \delta(x_1))/2$. При цьому в якості першого і другого альтернативних варіантів доцільно вибирати найгірші і найкращі якісні альтернативні варіанти.

Далі експертом вказується альтернативний варіант x_4, значення якого $\delta(x_4)$ розташоване посередині між $\delta(x_2)$ та $\delta(x_3)$ і альтернативний варіант x_5, значення якого $\delta(x_5)$ розташоване посередині між значеннями $\delta(x_3)$ та $\delta(x_4)$. Процедура завершується, коли визначається порівняльна перевага альтернативних варіантів, які беруть участь в експертизі.

5.1.3. Метод Черчмена – Акофа

Цей метод використовується при кількісній оцінці порівняльної переваги альтернативних варіантів і допускає коригування оцінок, які дають експерти [127].

В методі передбачається, що оцінки альтернативних варіантів – невід'ємні числа і, якщо альтернативний варіант x_1 переважніше альтернативного варіанту x_2, то оцінка $f(x_1)$ більше, ніж $f(x_2)$, а оцінка одночасної реалізації альтернативних варіантів x_1 і x_2 оцінюється як $f(x_1) + f(x_2)$.

Всі альтернативні варіанти ранжують за перевагою, і кожному з них експерт призначає кількісні оцінки, як правило, в долях одиниці. Далі експерт зіставляє за перевагою альтернативний варіант x_1 і суму решти альтернативних варіантів. Якщо він переважніший, то і значення $f(x_1)$ має бути більше сумарного значення інших альтернативних варіантів, в іншому випадку – навпаки. Якщо ці співвідношення не виконуються, то оцінки повинні бути відповідним чином скориговані. Надалі x_1 порівнюється з сумою решти альтернативних варіантів, за винятком останнього, але у випадку якщо він гірший, ніж сума інших альтернативних варіантів. Якщо альтернативний варіант x_1 на якомусь кроці виявився переважніше суми інших альтернативних варіантів і для оцінок це співвідношення підтверджується, то x_1 з подальших розглядів буде вилучено. Процес продовжується до тих пір, поки послідовно не будуть переглянуті всі альтернативні варіанти.

5.2. Методи практичного вилучення знань

5.2.1. Комунікативні методи

Комунікативні методи видобування знань охоплюють методи і процедури контактів інженера по знаннях з експертом. Ці методи видобування знань на сьогоднішній день є найбільш поширений. До основних різновидів комунікативних методів можна віднести:

- анкетування;
- інтерв'ю;
- вільний діалог.

У всіх цих методах активну функцію виконує інженер по знаннях.

Анкетування – найбільш стандартизований метод вилучення знань. В цьому випадку інженер по знаннях заздалегідь складає анкету для опитування декількох експертів. Процедура анкетування може проводитися двома способами:

1. Аналітик вголос задає питання і сам заповнює анкету за відповідями експерта.
2. Експерт самостійно заповнює анкету після попереднього інструктування.

Вибір способу залежить від конкретних умов (оформлення анкети, її зрозумілості, готовності експерта).

Існує кілька загальних рекомендацій при складанні анкет, які не залежать від предметної області, тобто являються універсальними [107]:

- анкета не повинна бути монотонною і одноманітною – це досягається варіаціями форми питань, зміною тематики, вставкою питань-жартів та ігрових питань;
- анкета повинна бути пристосована до мови експертів;
- послідовність питань повинна бути строго продумана, тому що питання впливають одне на одного.

Під **інтерв'ю** будемо розуміти специфічну форму спілкування інженера по знаннях і експерта, в якої інженер по знаннях задає експерту серію

заздалегідь підготовлених питань з метою вилучення знань про предметну область [98]. Основна відмінність інтерв'ю в тому, що воно дозволяє аналітику опускати ряд питань залежно від ситуації, вставляти нові питання в анкету, змінювати темп, урізноманітнити ситуацію спілкування.

Однією з найважливіших задач цього виду комунікативних методів є формування питань для інтерв'ю. Основні характеристики питань, які впливають на якість інтерв'ю, є:

- мова питання (зрозумілість, лаконічність, термінологія);
- порядок питань (логічна послідовність і немонотонність);
- доречність питань (етика, ввічливість).

У протоколах інтерв'ю фіксують не тільки відповіді, а й питання, попередньо ретельно відпрацьовуючи їх форму і зміст. Залежно від форми, впливу або функцій опитування розрізнюють [42]:

- відкриті питання – позначається тільки тема або предмет, залишаючи експерту вибір відповіді за формою та змістом;
- закриті питанні – експерт вибирає відповідь з набору запропонованих;
- особисті питання стосуються безпосередньо особистого індивідуального досвіду експерта;
- безособові питання спрямовані на виявлення найбільш поширених і загальноприйнятих закономірностей предметної області;
- прямі та непрямі запитання, тобто такі, які безпосередньо або лише побічно вказують на предмет чи тему;
- вербальні питання – це традиційні усні запитання;
- запитання з використанням наочного матеріалу – у цих питаннях використовують фотографії, малюнки і картки тощо;
- контрольні питання застосовують для перевірки достовірності та об'єктивності інформації, отриманої в інтерв'ю раніше;
- нейтральні питання, тобто складені таким чином, щоб не вказувати на ставлення інтерв'юера до даної теми;

- навідні питання змушують респондента (в даному випадку експерта) прислухатися або навіть взяти до уваги позицію інтерв'юера.

При складанні сценарію інтерв'ю корисно чергувати відкриті і закриті питання, особливо ретельно продумувати закриті, оскільки для їх складання потрібна певна ерудиція в предметної області.

Вільний діалог – це метод вилучення знань у формі бесіди інженера по знаннях і експерта, в якій немає жорсткого регламентованого плану [98]. У вільному діалозі важливо вибрати правильний темп або ритм бесіди. Уміння чергувати різні темпи, напругу і розрядку в бесіді істотно впливає на результат. Підготовка до діалогу так само, як і до інших комунікативних методів видобування знань, включає складання плану проведення сеансу вилучення знань, в якому необхідно передбачити наступні стадії:

- початок бесіди (пояснення цілей і завдань роботи);
- діалог з вилучення знань;
- заключна стадія (підбиття підсумків).

5.2.2. Активні групові методи

До групових методів вилучення знань відносяться ігри з експертами, дискусії за «круглим столом» за участю кількох експертів і «мозкові штурми». Основна перевага групових методів – це можливість одночасного вилучення знань від кількох експертів [87; 107].

Метод «*круглого столу*» передбачає обговорення якої-небудь проблеми з обраної предметної області, в якому беруть участь з рівними правами кілька експертів. Зазвичай спочатку учасники висловлюються у визначеному порядку, а потім переходять до живої вільної дискусії. Число учасників дискусії коливається від трьох до п'яти-семи.

Задача дискусії – колективно, з різних точок зору, під різними кутами досліджувати спірні гіпотези предметної області. Зазвичай емпіричні області багаті таким дискусійним матеріалом. Для більш ретельного аналізу предметної області на «круглий стіл» запрошують представників різних наукових напрямів і різних поколінь – щоб зменшити отримання односторонніх однобоких знань.

«Мозковий штурм» або «мозкова атака» – один з найбільш поширених методів вилучення знань. Вперше цей метод був використаний в 1939 р. в США А. Осборном як спосіб отримання нових ідей в умовах заборони критики. Тривалість цього методу невелика – близько 40 хвилин. Учасникам (до 10 осіб) пропонується висловлювати будь-які ідеї на задану тему (критика заборонена). Зазвичай висловлюється більш 50 ідей. Регламент до 2 хвилин на виступ. Оцінює результати зазвичай група експертів, що не брала участі у висловлюванні ідей.

Експертні ігри або ігри з експертами [42] з метою отримання знань поділяють на:

- дослідні ігри (використовують при моделюванні або підготовці фахівців) – експеримент, де учасникам пропонується виробнича ситуація, а вони на основі свого життєвого досвіду, своїх загальних і спеціальних знань і уявлень приймають рішення, які згодом аналізуються, і розкриваються закономірності мислення учасників експерименту;
- діагностичні ігри застосовуються конкретно для діагностики методів прийняття рішення в медицині.

Розрізняють також індивідуальні ігри, або ігри з експертом, рольові та ігри з тренажером. В індивідуальній грі з експертом інженер по знаннях бере на себе певну роль в ігровій ситуації. Групові ігри передбачають участь у грі кількох експертів. До такої грі заздалегідь складається сценарій, розподіляються ролі, до кожної ролі готується портрет-опис і розробляється система оцінювання гравців [42]. Зазвичай у грі бере участь від трьох до шести експертів, якщо їх більше, то можна розбити всіх на кілька конкуруючих ігрових бригад.

Наприклад, в роботі [85] описана гра «План», призначена для вилучення знань з фахівців підприємства, що розробляють виробничі плани випуску для цехів і приймають різні рішення з управління виробництвом. У грі експертів розбили на три ігрові групи: 1 – група планування; 2 – група менеджерів; 3 – група експертизи по оцінюванню дій груп 1 і 2. Групам 1 і 2 задавалися різні виробничі ситуації і ретельно протоколювалися їхні

суперечки, міркування, аргументи по прийнятті рішень. В результаті гри був створений прототип бази знань експертної системи планування.

Ігри з тренажерами являють собою імітаційні вправи в ситуації, наближеній до дійсності. Наявність тренажера дозволяє відтворити майже виробничу ситуацію. Тренажери широко застосовують для навчання.

5.2.3. Текстологічні методи

Текстологічні методи включають методи видобування знань з документів (методик, посібників, керівництв) та спеціальної літератури (статей, монографій, підручників). Вони використовують основні положення текстології, але відрізняються принципово від її методології, *по-перше*, характером і природою своїх джерел (професійна спеціальна література), а *по-друге* – вилученню конкретних професійних знань.

Задачу здобуття знань з текстів можна сформулювати як задачу *розуміння* і виділення змісту тексту [45]. Компоненти будь-якого наукового тексту (N_t) занурені в мовне середовище L – це первинний матеріал спостережень (Z), система наукових понять (W) в момент створення тексту, суб'єктивні погляди автора, результат його особистого досвіду (U), «загальні місця» (V), запозичення з інших джерел (статей, монографій) і т. ін. (R). Тобто:

$$N_t = (Z, W, U, V, R)_L. \qquad (5.2)$$

При видобуванні знань аналітику, що інтерпретує текст, доводиться вирішувати задачу декомпозиції цього тексту на перераховані вище компоненти для виділення істинно значущих фрагментів.

Існують таки види текстологічних методів, як аналіз спеціальної літератури, аналіз підручників та аналіз методик.

Основними моментами розуміння тексту є: висування попередньої гіпотези про сенс всього тексту (передбачення); визначення спеціальної термінології; виникнення загальної гіпотези про зміст тексту; уточнення значення термінів та інтерпретація окремих фрагментів тексту під впливом загальної гіпотези (від цілого до частин); формування деякій смислової структури тексту за рахунок встановлення внутрішніх зв'язків між окре-

мими важливими (ключовими) словами і фрагментами, а також за рахунок утворення абстрактних понять, узагальнюючих конкретні фрагменти знань; коригування загальної гіпотези містяться у тексті фрагментів знань (від частин до цілого); прийняття основної гіпотези.

До тескстологічних методів належать такі популярні зараз методи, як глибинний аналіз текстів (Text Mining) [44]. Технологія глибинного аналізу тексту являє собою одну з різновидів методів Data Mining [157] і має на увазі процеси вилучення знань і високоякісної інформації з текстових масивів. Це зазвичай відбувається через виявлення шаблонів і тенденцій за допомогою засобів статистичного вивчення шаблонів. По суті, глибинний аналіз текстів – це набір лінгвістичних, статистичних технік, а також технік машинного самонавчання, які здатні моделювати і структурувати інформаційний контент і текстові джерела в цілях бізнес-аналітики, аналізу даних, досліджень.

Типові стадії та завдання цієї технології включають до себе:

- пошук інформації і виявлення вихідних даних – збір або виявлення в інтернеті, базах даних, файлових системах або системах управління контентом набору текстових матеріалів для аналізу;
- використання статистичних методів аналізу, а також процесів обробки природної мови і засобів лінгвістичного аналізу;
- виявлення смислів – використання статистичних та інших технік для виявлення пойменованих ознак тексту – згадок людей, організацій, місць, символів, абревіатур тощо;
- виявлення шаблонів – в яких шаблонах в тексті представлені ті чи інші смисли;
- виявлення перехресних посилань – виявлення визначень та інших ознак, які відносяться до одних і тих самих об'єктів;
- виявлення взаємозв'язків, фактів і подій – пошук зв'язків між різними смислами, укладеними у текстовій інформації;
- смисловий аналіз – розпізнавання суб'єктивного (а не фактичного) матеріалу і виявлення різних форм оцінної інформації – смислів, думок, настроїв, емоцій. Технології аналізу дозволяють вивчати

смисли на рівні тем, концептів, а також виділяти законодавців думок і об'єкти думок;

- кількісний аналіз тексту – використання набору технік, які полягають в тому, що людина або комп'ютер виявляє семантичні або граматичні зв'язки між окремими словами, щоб зрозуміти сенс стилістичних шаблонів, провести психологічне профілювання і так далі.

Тексктологічні методи доречно використовувати як допоміжний засіб у таких методах форсайт-досліджень, як бібліометричний та наукометричний аналізи.

5.3. Формування вихідного переліку та критеріїв оцінки тематичних напрямів національного форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії

Етап формування вихідного переліку ТН складається з двох частин: формування переліку ТН і розрахунку значень із системи критеріїв їх оцінки по кожному напрямку. У *першій* частині необхідно за допомогою методів бібліометрії, наукометрії і патентного аналізу сформувати початковий перелік ТН. У *другій* – відбувається розрахунок значень критеріїв з системи критеріїв оцінки по кожному напряму. В результаті формуються досконаліші переліки ТН національного форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії. Кожне з ТН має кількісну оцінку, на підставі отриманих значень критеріїв їх оцінки, що надалі дозволить визначити ряд пріоритетних. Розглянемо більш докладно кожну з частин.

5.3.1. Формування переліку тематичних напрямів

Попередній перелік ТН будується за допомогою методів бібліометрії, наукометрії та патентного аналізу.

В бібліометричному аналізі найпоширенішим на цей час являється *метод підрахунку кількості публікацій* [41] – проводиться аналіз кількості наукових документів з різних галузей знань, які були прореферовані. Таким чином виділяють галузі науки і окремі розділи, які за кількістю наукових публікацій посідають провідне місце у структурі наукових знань. Згодом

порівнюється кількість публікацій по окремих галузях, з метою виділити «провідні» галузі знань (у відсотковому відношенні до загальної кількості публікацій, прореферованих за даний період).

Аналіз цитування в наукометрії [100] здійснюється шляхом дослідження бібліографічних посилань у публікаціях баз даних наукової періодики. З метою виявлення цитувань публікацій, формують певний напрям науки, тобто кількість посилань (самоцитування виключається) та загальну кількість публікацій по напрямку. За результатами аналізу цитування виділяють найбільш провідні наукові напрями.

У *патентному аналізі,* з метою отримання кількісних характеристик розвитку окремих напрямів науки і техніки, використовуються статистичні методи обробки масивів патентної інформації [133]. До них належать аналіз кривих динаміки винахідницької активності по кожному науково-технічному напрямку, який полягає в побудові кумулятивних рядів патентування, які характеризуються зростанням сумарного числа патентів, що належать до даного напрямку. Інтенсивність розвитку досліджуваного напрямку визначається тангенсом кута нахилу кривої динаміки патентування до часової осі, а на його основі розраховується коефіцієнт вагомості досліджуваного ТН, який і приймається як кількісний показник перспективності досліджуваного напрямку:

$$D_i = \frac{tg\alpha_i}{\sum_{i=1}^{n} tg\alpha_i}, \qquad (5.3)$$

де D_i – коефіцієнт вагомості *i*-го ТН, причому $\sum D_i = 1$;

$tg\alpha_i$ – тангенс кута нахилу дотичної *i*-го ТН до кривої динаміки винахідницької активності;

$\sum tg\alpha_i$ – сума тангенсів кутів нахилу дотичних всіх ТН до кривих динаміки винахідницької активності.

В результаті отримаємо ранжований перелік ТН, остаточний склад яких повинна уточнити і затвердити Науково-технічна Рада [95] для подальшого розрахунку значень критеріїв їх оцінки.

Розрахунок значень критеріїв оцінки вихідного переліку ТН. Отримати об'єктивне уявлення про тенденції науково-технічного розвитку допоможе комплексний розгляд всіх аспектів наукової діяльності та необхідних для її здійснення ресурсів (трудових, матеріальних, інформаційних, фінансових – у взаємозв'язку з результатами їх використання). Це дасть можливість інтегрувати непорівнянні між собою показники, що характеризують окремі елементи науково-інноваційного циклу, в цілісну систему. Отже, наступним кроком у процедурі формування вихідних переліків ТН є розрахунок значень критеріїв оцінки по кожному з них, які передбачені національною методикою форсайт-досліджень і схематично представлені на *рис. 5.1*. Зазначені критерії, згідно з їх значеннями, поділяють на кількісні й якісні.

Розрахунок значень кількісних критеріїв оцінки ТН. До кількісних критеріїв (виражених кількісними значеннями) належать – фінансування; наявність наукових фахівців; результативність науково-технічної діяльності; наявність виробничих потужностей і наявність експериментально-виробничої бази.

Критерій «Фінансування» ($К_ф$) визначає питому вагу капітальних затрат у внутрішніх витратах на наукові дослідження, розробки та закупівлі обладнання [75].

$$K_{ф} = \frac{З_{наук} + З_{обор}}{З_{заг}} \cdot 100\%, \qquad (5.4)$$

де $З_{наук}$ – капітальні витрати на наукові дослідження і розробки;

$З_{обор}$ – капітальні та поточні витрати на закупівлі обладнання;

$З_{заг}$ – внутрішні витрати на дослідження і розробки.

Під критерієм «Наявність наукових фахівців» ($К_{НС}$) розуміється питома вага чисельності фахівців вищої кваліфікації у загальній кількості наукових працівників [109]:

$$K_{нс} = \frac{K_{вк}}{K_{заг}} \cdot 100\%, \qquad (5.5)$$

де $K_{ВК}$ – чисельність фахівців вищої кваліфікації;

$K_{заг}$ – загальна кількість науковців.

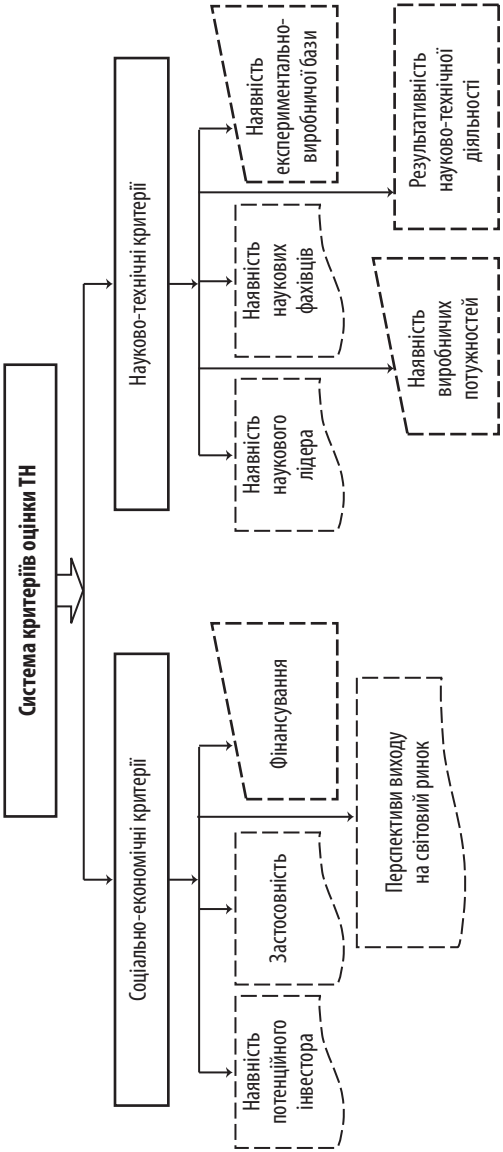

Рис. 5.1. Система критеріїв оцінки ТН

До фахівців вищої класифікації відносяться доктори і кандидати наук, а розрахунок їх чисельності проводиться з урахуванням вагових коефіцієнтів 0,8 і 0,5 для докторів та кандидатів наук відповідно:

$$K_{ВК} = 0,8 \cdot K_{ВКдок} + 0,5 \cdot K_{ВКканд}. \qquad (5.6)$$

Критерії «Наявність експериментально-виробничої бази» ($K_{евб}$) і «Наявність виробничих потужностей» ($K_{вп}$) визначаються шляхом аналізу бухгалтерських та статистичних звітних документів (відомості про наявність виробничих потужностей, баланс, баланс виробничих потужностей тощо) установ та підприємств певного ТН. Зазначені два критерії приймають значення 1 – якщо наявність підтверджується і 0 – в іншому випадку.

Критерій «Результативність науково-технічної діяльності» ($K_{нтд}$) має на увазі сумарний розрахунок індикаторів розвитку певного ТН, таких як загальне число діючих патентів вітчизняних та іноземних заявників в Україні ($K_{дпат}$); кількість поданих патентних заявок і заявок на корисні моделі (за останній рік) ($K_{пат}$); кількість придбаних прав на патенти і патентні ліцензії ($K_{прпат}$):

$$K_{нтд} = K_{пат} + K_{дпат} + K_{прпат}. \qquad (5.7)$$

Розрахунок значень якісних критеріїв оцінки ТН. До якісних критеріїв, або критеріїв, значення яких отримані шляхом експертного оцінювання, належать – застосовність, наявність потенційного інвестора, перспективи виходу на світовий ринок, наявність наукового лідера.

Для визначення значень по кожному з якісних критеріїв експертам необхідно заповнити опитувальну анкету (*рис. 5.2*), отриману шляхом злиття шаблонів декількох з опитувальних анкет в національній методиці форсайтних досліджень.

Результати опитування по кожному з ТН зводяться в наступну таблицю (*табл. 5.1*).

АНКЕТА

Пріоритетний напрямок _____

(код і назва)

_____

Код експерта _____

№ з/п	Тематичний напрям		Наявність потенційного інвестора ($К_і$)		Наявність наукового лідера ($К_{нл}$)		Перспективи виходу на світовий ринок ($К_{ср}$)		Застосовність у найближчому майбутньому ($К_{зм}$)		
	Код	Назва	Є (1)*	Немає (0)	Є (1)*	Немає (0)	Є (1)*	Немає (0)	до 3-х рр. (10)	через 3 – 5 рр. (5)	через 5 – 10 рр. (1)

* У круглих дужках вказані бали, в разі вибору експертом даного варіанту

Рис. 5.2. Шаблон опитувальної анкети для отримання значень якісних критеріїв

Таблиця 5.1

Результати опитування експертів

Напрями / Критерії	Експертна оцінка, бал								
	Напрям 1			...			Напрям *n*		
	Експерт								
	1	...	m	1	...	m	1	...	m
критерій 1									
...									
критерій k									

Для обробки групових експертних оцінок необхідно перевірити ступінь узгодженості думок експертів [110], а потім визначити узагальнену (агреговану) групову оцінку [84] для кожного ТН за кожним з критеріїв.

Як показники ступеня узгодженості думок експертів застосовують ко-

ефіцієнт варіації, що характеризує відносне розсіяння результату:

$$V_j = \frac{\sqrt{\dfrac{\sum_{i=1}^{m_j}(x_{ij} - \overline{x_j})^2}{m_j - 1}}}{\overline{x_j}} \cdot 100\%, \qquad (5.8)$$

де V_j – коефіцієнт варіації оцінок по j-му ТН;

m_j – кількість експертів, що оцінюють j-е ТН;

x_{ij} – оцінка в балах i-м експертом j-го ТН;

$\overline{x_j}$ – середньостатистичне значення величини оцінки ТН в балах:

$$\overline{x_j} = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} x_{ij}}{m_j}. \qquad (5.9)$$

Чим менше коефіцієнт варіації, тим більш злагоджені думки експертів.

Якщо ж узгодженість думок експертів відсутня, проводиться повторне анкетування. Експертам, крім опитувальних анкет, висилається додаткова інформація про предмет експертизи, і вони, як правило, коригують свої оцінки. Скоригована інформація знову надходить до аналітичної групи для перевірки узгодженості.

Для розрахунку агрегованої групової оцінки скористаємося методом середніх бальних оцінок [84]. Враховуючи вагові коефіцієнти експертів, групова оцінка j-го ТН обчислюється як середньозважена:

$$x_j^{св} = \sum_{i=1}^{m_j}(K_i \cdot x_{ij}), \qquad (5.10)$$

де K_i – вагові коефіцієнти компетентності експертів;

m_j – кількість експертів, що оцінюють j-е ТН;

x_{ij} – оцінка в балах i-м експертом j-го ТН;

Отже, по завершенні етапу «Формування вихідного переліку ТН» буде складений і затверджений перелік вихідних ТН, кожне з яких матиме кількісні значення по кожному з критеріїв їх оцінки, що дозволить на наступному етапі національної форсайт-методики визначити ряд пріоритетних напрямів.

Розділ 6
ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ВИБОРУ ПРІОРИТЕТНИХ ТЕМАТИЧНИХ НАПРЯМІВ У ФОРСАЙТ-ДОСЛІДЖЕННІ РОЗВИТКУ НАНОІНДУСТРІЇ

6.1. Можливості застосування формальних методів щодо вибору пріоритетних ТН при прогнозуванні розвитку нанотехнологій в Україні

6.1.1. Кластеризація експертних оцінок

Розглянемо задачу ранжування набору L-об'єктів (альтернатив), з яких треба вибрати один або кілька найбільш бажаних, тобто упорядкувати їх за ступенем переваги. Результатом ранжування має стати розбиття об'єктів на класи $X_1, X_2, ..., X_k$ такі, що об'єкти з $(i + 1)$-ого класу біль значущі ніж об'єкті з i-ого класу для будь-якого індексу i, а об'єкти всередині кожного класу рівноцінні між собою.

В ході рішення вводиться набір критеріїв M, за якими проводиться оцінка об'єктів, згідно зі шкалою i-ого критерію $(i = 1,..., M)$, при цьому число градацій дорівнює $G(i)$, а корисність j-ой градації в i-ому критерії дорівнює u_i^j. Далі N експертів для кожного об'єкта вказує, яка градація йому відповідає на кожній з шкал критеріїв, тобто получаємо набори оцінок експертів $R_1, R_2,..., R_n$. Отже, з'являється упорядкування об'єктів за перевагою, але тільки в межах будь-якого окремо взятого критерію. Наступний крок – за допомогою методу попарних порівнянь [126], коли кожен з критеріїв порівнюється між собою, будується узагальнена шкала, на якій розташовані всі градації всіх критеріїв, і кожній градації відповідає нове значення корисності, що задає її положення на узагальненій шкалі. Після цього треба кластеризувати оцінки експертів по кожному окремо взятому об'єкту [29], тобто розбити на групи подібних оцінок, а потім кожний кластер (групу) усереднити.

Для вирішення задачі кластеризації використаємо клас графових алгоритмів, як один з найточніших [153]. Вони працюють на такому принципі: якщо взяти деякий зв'язний граф, що накриває нашу множину точок, то при викиданні з нього ребер він буде розпадатися на незв'язні компоненти. Ці компоненти і беруться за шукані кластери, тобто графові алгоритми будують деякий накриваючий граф, а потім виключають з нього ребра, залишаючи самі короткі, поки не буде отримано потрібне число компонент зв'язності. В класі графових алгоритмів для цих задач застосовують ті алгоритми, за допомогою яких для даного графу може бути побудоване його мінімальне остовне дерево – MST (minimal spanning tree) – це зв'язний підграф даного графа, що накриває всі його вершини і мінімальний по сумарній довжині своїх ребер [29].

6.1.2. Прийняття рішень в умовах невизначеності

Задача прийняття рішень в умовах невизначеності пов'язана з необхідністю врахування впливу зовнішнього середовища, неконтрольованого ОПР, на результат. У ситуації з наявністю невизначеності ОПР потрібно зробити вибір з множини допустимих дій, порівняльна бажаність яких залежить від того, який конкретний стан зовнішнє середовище буде мати. При цьому передбачається, що множина станів природи являє собою повну систему несумісних подій, яка невідома ОПР.

Розглянемо далі випадок розв'язання задачі в умовах невизначеності, коли ОПР не має можливості отримати додаткову інформацію про невизначені фактори.

Основними елементами подібної ситуації є множина допустимих стратегій або дій ОПР $X = \{x_i\}$, $(i = \overline{1, m})$ і множина можливих станів зовнішнього середовища (або значень невизначеного фактора) $Y = \{y_j\}$, $(j = \overline{1, n})$.

Якщо бажаність стратегій оцінюється за допомогою одного критерію ефективності, то на декартовому добутку множин $X \times Y$ визначена міра цієї бажаності $U(X, Y)$, в якості якої може виступати корисність (цінність) результату. Якщо множини X і Y кінцеві, необхідну інформацію для вирішен-

ня задачі прийняття рішень в умовах невизначеності можна представити у вигляді значень критерію ефективності U_{ij}.

	y_1	y_2	…	y_j	…	y_n
x_1	U_{11}	U_{12}	…	U_{1j}	…	U_{1n}
x_2	U_{21}	U_{22}	…	U_{2j}	…	U_{2n}
…	…	…	…		…	…
x_i	U_{i1}	U_{i2}	…	U_{ij}	…	U_{in}
…	…	…	…		…	…
x_m	U_{m1}	U_{m2}	…	U_{mj}	…	U_{mn}

В даній таблиці $U_{ij} = U(x_i, y_j)$ означає корисність результату *i*-ої стратегії при *j*-му значенні невизначеного фактора. Потрібно вибрати стратегію, найкращу для ОПР в якомусь певному сенсі. Для вирішення такого завдання використовується ряд спеціальних принципів. Розглянемо найбільш важливі з них.

Принцип песимізму (найбільшого гарантованого результату, максиміна). Принцип максиміна полягає у виборі в якості найбільш ефективної тієї альтернативи (стратегії), яка має найбільше серед найменших по всіх альтернативах значення функції корисності або фактора [106]. Дана стратегія орієнтована на отримання гарантованого мінімуму бажаності (не гірше ніж «кращий з гірших»).

Згідно з цим принципом кожна досліджувана стратегія характеризується гарантованим рівнем корисності результату, тобто значенню критерію, яке відповідає найменш сприятливому стану зовнішнього середовища $\underline{U}(x_i) = \min_j U_{ij}$.

Отже, обравши стратегію x_i, ОПР отримає в результаті корисність результату $U(x, y)$ принаймні не нижче цього рівня: $U(x,y) \geq \underline{U}(x)$. При цьому переважною буде та стратегія, у якої гарантований рівень корисності результату вище. Оптимальною вважається стратегія x^*, яка забезпечує максимальний гарантований результат:

$$U(x^*) = \max_i \min_j U_{ij}. \qquad (6.1)$$

Максимінна оцінка є єдиною абсолютно надійною оцінкою і використовується при прийнятті відповідальних рішень в умовах невизначеності. Перевагою цього принципу є також те, що його можна використовувати у випадках, коли корисність результату стратегії оцінюється хоча б за порядковою шкалою, тобто не вимагається її числове значення.

Принцип оптимізму. Якщо принцип песимізму орієнтований на отримання гарантованого мінімуму корисності результату стратегій, то за допомогою принципу оптимізму враховується можливість отримання максимального рівня $\overline{U}(x)$, тобто $\overline{U}(x_i) = \max_j U_{ij}$.

Оптимальною визнається стратегія, у якій цей рівень найбільший:

$$U(x^*) = \max_i \max_j U_{ij}. \qquad (6.2)$$

Крайній оптимізм цього принципу протилежний крайньому песимізму принципу найбільшого гарантованого результату [120]. Обидва розглянутих принципи досить консервативні, оскільки при їх використання йдеться про отримання екстремальних результатів (найкращих чи найгірших).

Принцип песимізму-оптимізму (принцип Гурвіца). Цей принцип є змішаним, тобто комбінацією принципу найбільшого гарантованого результату і принципу оптимізму. В принципі Гурвіца використовуються зважені значення найкращих та найгірших результатів стратегії [106]. Кожна стратегія при цьому характеризується показником песимізму-оптимізму α (деяким числом між 0 і 1).

Рівень корисності результату стратегії розраховується за формулою

$$U(x) = \alpha \cdot \underline{U}(x) + (1-\alpha) \cdot \overline{U}(x), \qquad (6.3)$$

де $\underline{U}(x) = \min_y U(x,y), \overline{U}(x) = \max_y U(x,y), 0 \le \alpha \le 1.$

Найбільш кращою є стратегія x^*, для якої

$$U(x^*) = \max_i (\alpha \cdot \min_j U_{ij} + (1-\alpha) \cdot \max_j U_{ij}).$$

При $\alpha = 1$ отримуємо принцип найбільшого гарантованого результату, при $\alpha = 0$ – принцип оптимізму.

Основною проблемою застосування принципу оптимізму-песимізму є визначення показника α. Об'єктивних способів його обчислення не існує, можлива тільки суб'єктивна оцінка, наприклад, за допомогою тестової задачі з двома стратегіями і двома станами природи:

	y_1	y_2
x_1	0	1
x_2	t	t

Приймаючому рішення пропонують вказати таке число t в стратегії x_2, яке робило б останню рівноцінною стратегії x_1. Тоді при $U(x_1)=U(x_2)$ маємо: $1-\alpha=\alpha\cdot t+(1-\alpha)\cdot t$. Отже, шукане значення $\alpha=1-t$.

Принцип мінімаксного жалю (принцип Севіджа). Він заснований на принципі мінімізації втрат, пов'язаних з тим, що ОПР прийняв не оптимальне рішення [57]. Для кожного стану природи $y \in Y$ визначається величина $\max\limits_x U(x,y)$, яка показує, який найкращий результат можна отримати при конкретному значенні невизначеного фактора. Цей рівень корисності результату був би досягнутий, якби приймаючий рішення знав заздалегідь, як зміниться стан природи. Далі будується новий показник $W(x,y)=\max\limits_x U(x,y)-U(x,y)$, що характеризує потенційний ризик або, іншими словами, потенційні втрати чи жалю при виборі ОПР неоптимальної для даного стану природи стратегії.

Принцип Севіджа полягає у виборі стратегії за допомогою показника $W(x,y)$ на підставі принципу найбільшого гарантованого результату, тобто за критерієм $\min\limits_x \max\limits_y W(x,y)$.

Кожна стратегія $x_i \in X$ характеризується максимальним жалем $W(x_i)=\max\limits_j(\max\limits_i U_{ij}-U_{ij})$.

Найкращою (оптимальною) вважається стратегія, для якої максимальний жаль є мінімальним. Згідно з принципом Севіджа оптимальною буде стратегія x^*, що задовольняє умові

$$W(x^*) = \min_i \max_j (\max_i U_{ij} - U_{ij}). \tag{6.4}$$

Алгоритм застосування принципу Севіджа:

1. Кожен елемент матриці рішень $U(x, y)$ віднімається від максимального елемента його стовпця і записується в матрицю жалю $W(x, y)$.
2. Формується стовпець максимальних елементів рядків матриці жалю.
3. Вибирається мінімальний елемент цього стовпця – він і відповідає стратегії, оптимальній за критерієм Севіджа.

Принцип мінімаксного жалю можна застосовувати тільки тоді, коли величини корисності результату прийняття рішень $U(x, y)$ задані кількісно. Використання принципу дозволяє зменшити ризик при прийнятті рішення.

Принцип недостатньої підстави (принцип Бернуллі, Лапласа). Цей принцип заснований на зведенні проблеми невизначеності до проблеми оцінки випадкових факторів [58]. Передбачається, що множина станів зовнішнього середовища $Y = \{y_1, \ldots, y_m\}$ скінченна і вони рівноймовірні:

$$P(y_1) = P(y_2) = \ldots = P(y_m) = 1/m.$$

Для прийняття рішення, необхідно розрахувати функцію корисності для кожної альтернативи, рівну середнєарифметичному показників привабливості по кожному «стану зовнішнього середовища»:

$$U(x_i) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} U_{ij}.$$

Вибирається та альтернатива, для якої функція корисності максимальна, тобто оптимальна стратегія x^* визначається, виходячи з умови

$$U(x^*) = \max_i U(x_i) = \max_i \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m} U_{ij}. \tag{6.5}$$

Зазначені принципи прийняття рішень в умовах невизначеності мають як переваги, так і недоліки, які проявляються з різного ступеня в конкретних умовах розв'язуваної задачі. При прийнятті особливо важливих і відповідальних рішень певні переваги дає принцип найбільшого гарантованого результату. У теорії статистичних рішень зазвичай використовуються принцип Севіджа і принцип недостатньої підстави і т. ін

6.1.3. Прийняття рішень в умовах ризику

Прийняття рішень в умовах ризику передбачає, що кожній альтернативі a_i, $(i = \overline{1, m})$ відповідає свій розподіл ймовірностей на множині наслідків y_j, $(j = \overline{1, n})$. Якщо множини альтернатив і результатів скінченні, то вважаються відомими ймовірності всіх результатів, можливих при виборі даної альтернативи.

Ситуації вибору альтернатив можна представити у вигляді матриці рішень (*табл. 6.1*).

Таблиця 6.1

Матриця рішень

A	Z				
	z_1	…	z_j	…	z_n
a_1	y_{11}	…	y_{1j}	…	y_{1n}
…	…	…	…	…	…
a_i	y_{i1}	…	y_{ij}	…	y_{in}
…	…	…	…	…	…
a_m	y_{mj}	…	y_{mj}	…	y_{mn}

Матриця рішень інтерпретується наступним чином – рішення a_i може реалізувати різні результати з відповідного рядку матриці: $y_{i1}, y_{i2}, ..., y_{im}$. Який саме результат реалізується, залежить від значення параметра невизначеності *z*, який може мати різний змістовний сенс [112].

Тоді задачу прийняття рішень в умовах ризику можна представити у формі функції реалізації виду

$$y = F(a,z). \tag{6.6}$$

Представлення задачі прийняття рішень в умовах ризику у формі функції реалізації означає, що статистичну невизначеність, яка виявляється в неоднозначному (ймовірнісному) зв'язку між засобом і результатом, можна інтерпретувати як існування деякого середовища, що впливає на результат. Кожному стану середовища z_j відповідає ймовірність його настання

$$p(z_j) = \prod_{i=1}^{n} p_i(y_j(a_i)), \tag{6.7}$$

де $p_i(y_j(a_i))$ – ймовірність настання результату y_j при виборі альтернативи a_i.

Тоді існує функціонал $K: X \times Z \to R$, і задача прийняття рішень зводиться до задачі оптимізації

$$K(a,z) \to \underset{a \in A}{opt}. \tag{6.8}$$

6.1.4. Математичний апарат нечіткої логіки

Відмітною рисою прийняття рішень в нечітких умовах є симетрія стосовно цілям і обмеженням [35]. Ця симетрія усуває відмінності між цілями і обмеженнями і дозволяє досить просто сформувати на їх основі рішення. Під нечіткою ціллю мається на увазі ціль, яку можна описати як нечітку множину у відповідному просторі. Нехай X – задана множина альтернатив. Тоді нечітка ціль, або просто ціль, G визначатиметься фіксованою нечіткою множиною G в X. Нечітке обмеження, або просто обмеження, C в просторі X визначається як деяка нечітка множина в X. Рішення – це вибір однієї або декількох з наявних альтернатив.

Проблема прийняття рішення в нечітких умовах інтерпретується як комплексний вплив нечіткої цілі G і нечіткого обмеження C на вибір альтер-

натив і характеризується перетином $G \times C$, яке і утворює нечітку множину рішень D, тобто

$$D = G \times C. \tag{6.9}$$

Функція належності для множини рішень задається співвідношенням

$$\mu_D(X) = \mu_G(X) \wedge \mu_C(X). \tag{6.10}$$

У більш загальному випадку, якщо задано n цілей та m обмежень, то результуюче рішення визначається перетином всіх заданих цілей і обмежень, тобто

$$D = G_1 \cap ... \cap G_n \cap C_1 \cap ... \cap C_m, \tag{6.11}$$

і, відповідно,

$$\mu_D = \mu_{G_1} \wedge ... \wedge \mu_{G_n} \wedge \mu_{C_1} \wedge ... \wedge \mu_{C_m}. \tag{6.12}$$

У наведеному визначенні нечіткі цілі та обмеження входять у вираз для D абсолютно однаковим образом. У багатьох випадках необхідно вибирати ті альтернативи, які мають максимальний ступінь належності до D. Якщо таких елементів кілька, то вони утворюють звичайну множину, яка є оптимальним рішенням, а кожен елемент цієї множини – максимізуючим рішенням.

Розглянемо більш загальний випадок, коли цілі й обмеження – нечіткі множини в різних просторах [35]. Нехай f – відображення з X в Y, причому змінна x позначає вхідний вплив, а y – відповідний вихід.

Припустимо, що мета задана як нечітка множина G в Y, в той час як обмеження – нечітка множина C у просторі X. Маючи нечітку множину G в Y, можна знайти нечітку множину $\overline{G}$ в X, яке індукує G в Y. Функція приналежності $\overline{G}$ в Y задається рівністю

$$\mu_{\overline{G}}(X) = \mu_G(f(X)). \tag{6.13}$$

Після цього рішення D може бути виражено перетинанням множин $\overline{G}$ і C. Використовуючи попереднє співвідношення, можна записати.

$$\mu_D(X) = \mu_G(f(X)) \wedge \mu_C(X). \tag{6.14}$$

Отже, випадок, коли цілі та обмеження задаються як нечіткі множини в різних просторах, може бути зведений до випадку, коли вони задаються в одному і тому ж просторі.

6.1.5. Методи підтримки вибору з малого числа альтернатив на основі парних порівнянь

Метод аналізу ієрархій (МАІ) [126] базується на використанні лінійної функції корисності. Основне застосування методу – підтримка прийняття рішень за допомогою ієрархічної композиції завдання і ранжування альтернативних варіантів рішень. Можливості методу аналізу ієрархій:

1) Метод дозволяє провести аналіз проблеми. При цьому проблема прийняття рішення представляється у вигляді ієрархічно упорядкованих рівнів:

а) головної мети (головного критерію) ранжування можливих рішень,

б) декількох груп (рівнів) однотипних факторів, які інакше впливають на рейтинг,

в) групи можливих рішень,

г) системи зв'язків, що вказують на взаємний вплив факторів і рішень.

2) МАІ дозволяє провести збір вихідних даних для вирішення проблеми. Набір можливих рішень і всі фактори, що впливають на пріоритети рішень, розбиваються на відносно невеликі групи – кластери. Розроблена в методі процедура парних порівнянь дозволяє визначити пріоритети об'єктів, що входять в кожен кластер. Для цього використовується метод власного вектора.

3) Метод дозволяє оцінити суперечливість даних і мінімізувати її. З цією метою в МАІ розроблені процедури узгодження.

4) За допомогою МАІ можна провести синтез проблеми прийняття рішення. Після того, як проведено аналіз проблеми та зібрані дані по всіх кластерам, за спеціальним алгоритмом розраховується підсумковий рейтинг – набір пріоритетів альтернативних рішень. Крім того, метод дозволяє побудувати рейтинги для груп факторів, що дозволяє оцінювати важливість кожного фактора.

5) Метод дозволяє оцінити стійкість прийнятого рішення. Прийняте рішення можна вважати обґрунтованим лише за умови, що неточність даних або неточність структури моделі ситуації прийняття рішення не впливають істотно на рейтинг альтернативних рішень.

МАІ складається з таких кроків:

1. Окреслити проблему і визначити, що необхідно дізнатися.
2. Побудувати ієрархію, починаючи з вершини (цілі – з точки зору управління), через проміжні рівні (характеристики, від яких залежать наступні рівні) до самого нижнього рівню (який зазвичай є переліком альтернатив).
3. Побудувати множину матриць парних порівнянь для кожного з нижніх рівнів – по одній матриці для кожного елемента, примикаючого зверху рівня. Елементи будь-якого рівня порівнюються один з одним щодо їх впливу на спрямовуваний елемент. Отже, отримуємо квадратну матрицю суджень. При цьому елемент матриці получаємо як $a_{ij} = w_i / w_j$, де $W = (W_1, W_2,..., W_m)$ – ваги критеріїв, тобто оцінки ОПР.

Таблиця 6.2

Матриця парних порівнянь

	A_1	…	A_j	…	A_m
A_1	1	…	a_{1j}	…	a_{1m}
…	…	...	…	…	…
A_i		…	1	…	a_{im}
…	…	…	…	…	…
A_m	a_{m1}	…	a_{mj}	…	1

4. Обчислюються компоненти власного вектора як середнє геометричне по рядку. Після знаходження, компоненти власного вектора нормуються, що дає вектор пріоритетів або ваг об'єктів.

5. Після проведення всіх парних порівнянь та отримання даних за власним значенням і власному вектору можна визначити узгодженість. Для цього, використовуючи відхилення максимального власного числа від розмірності матриці, обчислюємо так званий індекс узгодженості. Потім порівнюємо його з відповідним індексом, отриманим для матриці, побудованої випадковим чином, і отримуємо відношення узгодженості. Прийнятним є відношення узгодженості не більш 10 %. Інакше необхідно зробити переоцінку відповідної матриці.

Метод ELECTRE є першим з методів класифікації альтернатив. Він був запропонований французьким ученим Б. Руа в 70-ті роки XX століття і породив цілий напрямок в області методів підтримки вибору з кінцевого числа альтернатив [112]. У методі ELECTRE замість функції корисності будується правило у вигляді бінарного відношення, яке дозволяє виділити підмножину альтернатив з вихідної сукупності. Альтернативи задані значеннями своїх показників (критеріїв вибору), які можуть бути отримані різними шляхами, в тому числі і з використанням математичного моделювання.

Розглянемо N альтернатив, кожна з яких характеризується значеннями m критеріїв, причому в якості критеріїв можуть виступати як кількісні, так і якісні показники. Значення i-го критерію для вибору j-ої альтернативи будемо позначати $y_{ji}, i=\overline{1,m}, j=\overline{1,N}$.

Перш за все, в методі ELECTRE потрібно перейти від кількісних показників до якісних. Це здійснюється розбиттям множини кількісних значень на кінцеве число класів, кожному з яких присвоюється якісна характеристика. Після цього кожен з альтернативних варіантів виявляється заданий наборами з m якісних показників. При цьому для кожного з показників повинні бути заздалегідь узгоджені з ОПР співвідношення переваг між різними класами.

Загальна схема методу складається з чотирьох етапів:

1. Призначення ваг. ОПР призначає позитивні ваги кожного з критеріїв $W_1, W_2, ..., W_m$.

2. Побудова індексу згоди. Для кожної пари альтернатив *j* і *k* множина критеріїв $I = \{1, 2, ..., m\}$ розбивається на три групи:

$$I_{jk}^{+} = \{i \in I \mid y_{ji} \succ y_{ki}\}, I_{jk}^{-} = \{i \in I \mid y_{ji} \prec y_{ki}\}, I_{jk}^{0} = \{i \in I \mid y_{ji} \approx y_{ki}\}.$$

Множина I_{jk}^{+} включає ті критерії, за якими *j*-а альтернатива краще *k*-ої, множина I_{jk}^{-} складається з критеріїв, за якими *j*-а альтернатива гірше *k*-ої, а множина I_{jk}^{0} складається з тих критеріїв, за якими *j*-а і *k*-а альтернативи еквівалентні. Індекс згоди з тим, що альтернатива *j* краще альтернативи *k* визначається наступним чином:

$$C_{jk} = \frac{\sum\limits_{i \in I_{jk}^{+}} W_i + \alpha \sum\limits_{i \in I_{jk}^{0}} W_i}{\sum\limits_{i=1}^{m} W_i}, \qquad (6.15)$$

де α – параметр, $\alpha \in \{1, 0{,}5, 0\}$ (вибір параметра α залежить від того, яка модифікація методу реалізується).

3. Побудова індексу незгоди. Для кожної пари *j* і *k* індекс незгоди з тим, що альтернатива *j* краще альтернативи *k*, визначається за формулою

$$d_{jk} = \frac{1}{100} \max_{i} \left\{ \begin{array}{l} \text{інтервал переваги } k\text{-ої альтернативи} \\ \text{над } j\text{-й по } i\text{-му критерію} \end{array} \right\} \qquad (6.16)$$

де інтервал переваги *k*-ої альтернативи над *j*-ою по *i*-му критерію визначає число послідовних переходів з класу в клас, яке необхідно здійснити для того, щоб *j*-й варіант став еквівалентний *k*-му по *i*-му критерію, помножене на ціну одного такого переходу. При цьому потрібно, щоб величини d_{jk} не перевищували одиницю.

4. Побудова вирішального правила. На основі чисел $p \in (0,1]$ і $q \in [0,1)$, що визначаються ОПР, на множині альтернатив будується наступне бінарне відношення: *j*-а альтернатива визнається кращою за альтернативи *k*, за умови того, що $c_{jk} \geq p$ і $d_{jk} \leq q$. Відразу можна помітити, що при $\alpha = 0{,}5$, $p = 1$ і $q = 0$ вказане бінарне відношення стає

аналогом бінарного відношення Слейтера, оскільки в цьому випадку j-а альтернатіва домінує k-у лише тоді, коли $j = 1$ і $d_{jk} = 0$, тобто $i \in I_{jk}^{+}$ для всіх $i = \overline{1, m}$. При $p < 1$ і $q > 0$ можуть виникнути інші пари альтернатив, пов'язані введеним бінарним відношенням.

Після того як бінарне відношення побудовано, ОПР представляється множина взаємно недомінуемих альтернатив, на якій побудоване бінарне відношення що володіє НМ-властивістю (ядро по фон-Нейману-Моргенштерну [112]). Далі ОПР вибирає остаточне рішення з цієї множини. Отже, метод ELECTRE дозволяє скоротити число аналізованих варіантів, полегшуючи тим самим вибір ОПР.

6.1.6. Парето-оптимальність

У багатокритериальній задачі прийняття рішень з позитивними критеріями мета приймаючого рішення – отримання результату, що має якомога більш високі оцінки по кожному критерію [89].

Нехай множина можливих векторів Y складається з кінцевого числа N елементів і має вигляд $Y = \{y_1, y_2, ..., y_N\}$.

Нехай Y_j – множина значень функції f_i – числова функція, яка задана на множині альтернатив, тобто множина всіх оцінок по j-му критерію ($J = \overline{1, n}$). Тоді множина $Y = \prod_{j=1}^{m} Y_j$, яка складається з усіляких упорядкованих наборів оцінок за критеріями 1, 2, ..., m, – множина векторних оцінок. Будь-який елемент $y \in Y$ являє собою вектор $y = (y_1, y_2, ..., y_m)$, де $y \in Y_j$. Для всякого результату $\alpha \in X$ набір його оцінок за всіма критеріями, тобто набір $(f_1(\alpha), f_2(\alpha), ..., f_m(\alpha))$ є векторна оцінка результату a. Векторна оцінка містить повну інформацію про цінність (корисність) цього результату для приймаючого рішення і порівняння будь-яких двох результатів замінюється порівнянням їх векторних оцінок.

Основне відношення, за яким проводиться порівняння векторних оцінок (значить, і порівняння результатів), – це відношення домінування по

Парето. Тут кращим вважається такий результат, для якого не існує іншого результату кращого за даний хоча б за одним критерієм і не гіршого за нього по всім іншим. Відношення домінування по Парето визначається таким чином.

Кажуть, що векторна оцінка $y = (y_1, y_2,..., y_m)$ домінує по Парето векторну оцінку $y`=(y`_1, y`_2,..., y`_m)$, (тобто $y \overset{Par}{>} y'$), якщо для всіх $j = 1$, виконується нерівність $y_j \geq y`_j$, причому принаймні для одного індексу $j = \overline{1, n}$ нерівність повинна бути строгою [127].

Перенесемо тепер ці поняття на результати. Кажуть, що результат α_1 домінує по Парето результат α_2, якщо векторна оцінка результату α_1 домінує по Парето векторну оцінку результату α_2. Змістовно умова $\alpha_1 \overset{Par}{>} \alpha_2$ означає, що результат α_1 не гірше, ніж результат α_2 по будь-якому з розглянутих критеріїв, причому, принаймні по одному з цих критеріїв, α_1, краще α_2. Парето-оптимальність результату α^* означає, що він не може бути поліпшений по жодному з критеріїв без погіршення по якомусь іншому критерію, тобто що не можна далі покращувати значення одного критерію, не погіршуючи при цьому хоча б одного з інших.

6.1.7. Методи багатокрітеріального вибору на основі додаткової інформації

Простим і часто застосовуваним методом зменшення множини Парето є метод обмежень [112].

Вирішується стандартна багатокритеріальна задача

$$\begin{aligned} &f_i(x) \to \max,\ x \in D, \\ &f_i : D \to R,\ i = \overline{1,m}, \end{aligned} \qquad (6.17)$$

де D – довільна абстрактна множина.

На першому етапі одним з відомих методів будується множина Парето $P(D)$. Далі метод обмежень реалізується відповідно до наступної послідовності кроків.

Крок 1. Користувачеві пропонується призначити нижні допустимі межі t_i для всіх m-критеріальних функцій:

$$f_i(x) \geq t_i,\ \mathrm{i}=\overline{1,\mathrm{m}}. \qquad (6.18)$$

Крок 2. Будується підмножина множинаі Парето, що складається з точок, що задовольняють нерівностям (6.18):

$$D_l = \{x \in P(D) \mid f_i(x) \geq t_i,\ \mathrm{i}=\overline{1,\mathrm{m}}\},\ D_l \subset P(D). \qquad (6.19)$$

Крок 3. Якщо D_1 – порожня множина, то користувачеві пропонується послабити вимоги за допомогою зменшення якогось із чисел t_i. Далі переходимо до кроку 2. Якщо D, не порожньо – переходимо до кроку 4,

Крок 4. Вибирається $\forall x \in D_l$ і пред'являється користувачеві в якості кандидата на «рішення» задачі (6.17).

Якщо рішення задовольняє користувача, то процес завершується. В іншому випадку переходимо до кроку 5.

Крок 5. Користувачеві пропонується призначити нову (збільшену) нижню межу по одному з критеріїв і здійснити перехід до кроку 2.

Як правило, у процесі діалогу користувач отримує додаткову інформацію про завдання у вигляді діапазонів зміни векторних оцінок для елементів множини Парето або множин D_1. В методі обмежень яка-небудь ординальна інформація не використовується, а скорочення вихідної множини альтернатив проводиться у процесі надходження додаткової інформації від користувача у вигляді послідовності наборів нижніх меж $\{t_i\}$.

6.2. Оцінка та уточнення переліку ТН

6.2.1. Оцінка та уточнення переліку ТН методом Парето-оптимальності

Математична модель поставленої задачі про вибір найбільш пріоритетних напрямків розвитку наноіндустрії може бути представлена у вигляді:

$$B_f = < X, f_1, f_2, ..., f_m >, \qquad (6.21)$$

де X – множина ТН;

f_j – числова функція, задана на множині X, при цьому $f_j(x)$ є оцінка ТН $x \in X$ по j-му му критерію оцінки $(j = 1, m)$.

Мета рішення задачі вибору найбільш пріоритетних напрямів розвитку наноіндустрії полягає в отриманні напрямів, які мають якомога більш високі оцінки по кожному критерію, тобто у виділенні множини Парето [127]. Всі критеріальні функції f_j відображають корисність ТН $x \in X$ з позицій різних критеріїв оцінки і повинні бути сумірними, тобто значення кожної критеріальної функції змінюються в одних і тих же межах $[a, b]$:

$$\forall x \in X : 0 \le a \le f_j(x) \le b,\ j = \overline{1,m}. \qquad (6.22)$$

При цьому найменш бажаний за допомогою одного з часткових критеріїв $f_j(x)$ ТН отримає оцінку a, найбільш бажаний – оцінку b $(a = 0, b = 1)$.

Зазначені вище числові функції $f_j(x)$ $(j = 1, m)$ утворюють векторний критерій $f = (f_1(x), f_2(x), \ldots, f_m(x)) \in R^m$, можливих оцінок $Y = f(X) = \{y \in R^m \mid y = f(x)$ при деяком $x \in X\}$.

Відношення домінування по Парето визначається наступним чином: ТН x_i *домінує* по Парето ТН x_j, якщо векторна оцінка $f(x_i) = (f_1(x_i), \ldots, f_m(x_i))$ ТН x_i домінує по Парето векторну оцінку $f(x_j) = (f_1(x_j), \ldots, f_m(x_j))$. ТН x_j, тобто якщо виконується нерівність $f(x_i) \ge f(x_j)$, а отже і $x_i \ge x_j$. Змістовно умова домінування по Парето означає, що ТН x_i не гірше, ніж ТН x_j по будь-якому з розглянутих критеріїв, причому принаймні по одному з цих критеріїв x_i краще x_j. Отже, згідно зі значеннями критеріальних функцій ТН отримаємо їх векторні оцінки. Для відшукання множини парето-оптимальних векторів $P(Y)$ порівнюємо їх між собою за правилом, що описано вище. Якщо отримані пари виявляються непорівнянними по відношенню Парето, тоді ставиться завдання звуження вихідної множини за допомогою методу t-упорядкування, з метою вибору декількох ТН в якості остаточного результату.

6.2.2. Оцінка та уточнення переліку ТН методом *t*-впорядкування для звуження області Парето

Ставиться завдання вибору декількох ТН в якості остаточного результату за допомогою звуження множини Парето. Одним з таких методів є метод *t*-впорядкування [117], який використовує ординальну інформацію ОПР про відносну значущості критеріїв.

В якості вихідної інформації для методу *t*-впорядкування приймається множина *S*-висловлювань ОПР про відносну важливість критеріїв оцінки:

$$S = \{f_k = f_j; \ldots; f_q > f_p, \tag{6.23}$$

яке необхідно розширити за рахунок додавання нових транзитивних висловлювань, які є наслідками вже наявних.

З урахуванням отриманої множини (6.23) при порівнянні двох векторних оцінок ТН будується відношення переваги за методом *t*-впорядкування:

$$\begin{aligned} &f(x_z)^t \succ f(x_w) \leftrightarrow [\exists f''(x_w) \in f(x_w) I : f(x_z) \overset{p}{\underset{\sim}{\succ}} f''(x_w)], \\ &f(x_z) \overset{p}{\underset{\sim}{\succ}} f(x_w) \leftrightarrow \forall j \in [1:m] : f_j(x_z) \geq f_j(x_w) \end{aligned} \tag{6.24}$$

де $f(x_Z), f(x_W)$ – векторні оцінки ТН $f(x_Z) = (f_1(x_Z), \ldots, f_m(x_Z))$;
$f(x_W) = (f_1(x_W), \ldots, f_m(x_W)))$;
$f(x_W)I$ – множина $f(x_W)$ – поліпшених векторів ($f_k = f_j; f_q > f_p$).

Отже, вихідними даними задачі є множина (6.23) ординальної інформації про відносну важливість критеріїв і множина непорівнянних по Парето векторів. Вибирається пара векторів $f(x_i)$ і $f(x_j)$ для порівняння їх векторних оцінок. Вектор $f(x_i)$ фіксуємо, а по вектору $f(x_j)$ отримуємо множину поліпшених векторів $f(x_j)$ I згідно з (6.24). Після перетворень отримуємо вектори, порівнянні за Парето. У підсумку отримуємо множину парето-оптимальних векторів, а як наслідок – пріоритетних напрямків розвитку наноіндустрії.

Розділ 7
РЕЗУЛЬТАТИ ПОПЕРЕДНЬОГО ФОРСАЙТ-ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗВИТКУ НАНОІНДУСТРІЇ В УКРАЇНІ

7.1. Сценарний приклад реалізації методичного підходу до форсайт-досліджень розвитку наноіндустрії в 2009 – 2013 роках

Дане форсайт-дослідження проводилось протягом 3-го кварталу 2014 року. Як вихідні дані в ході дослідження використано статистичні дані за 2009 – 2013 роки.

Для об'єктивного аналізу кожного з напрямів наноіндустрії на початку форсайт-дослідження були введені наступні припущення щодо достатності:

1) інформації, отриманої з обраних джерел;

2) заданих часових інтервалів;

3) розрахунку значень за основними критеріями їх оцінки.

Хід форсайт-дослідження, згідно з наведеним вище підходом, складався з таких етапів:

1. *Формування експертних панелей*, при цьому визначається чисельність і склад експертної групи для участі у форсайт-проекті на підставі оцінки рівня компетентності кожного експерта.
2. *Формування вихідного переліку напрямів* наноіндустрії. Необхідно провести аналіз стану і перспектив розвитку наноіндустрії із застосуванням методів бібліометрії (метод підрахунку кількості публікацій) [41], наукометрії (метод аналізу цитування, контент-аналіз, тезарусний і сленговий методи) [100] та патентного аналізу (аналіз кривих динаміки винахідницької активності) [133]. Після чого, для отриманих переліків науково-технічних напрямів розвитку наноіндустрії розраховуються значення критеріїв їх оцінки,

передбачених національною методикою форсайтних досліджень [95]. Отже, всі «провідні» напрями матимуть кількісні оцінки по кожному з критеріїв, що надалі дозволить визначити ряд пріоритетних.

3. *Вибір пріоритетних напрямів розвитку наноіндустрії*. Вихідними даними для вибору пріоритетних напрямів є перелік напрямів наноіндустрії, а також множина значень критеріїв їх оцінки. Процедура вибору пріоритетних напрямів розвитку наноіндустрії полягає в ранжуванні цих напрямів по заданим критеріям за допомогою методів Парето-оптимальності та *t*-упорядкування.
4. *Узгодження і затвердження пріоритетних напрямів*. Відповідно до діючої методики [95] здійснюється строго регламентована процедура узгодження та затвердження пріоритетних напрямів.

Результатом реалізації форсайт-досліження стала низка пріоритетів розвитку наноіндустрії України.

Приймемо допущення, що для об'єктивного аналізу кожного з напрямів наноіндустрії достатньо:

- інформації, отриманої з обраних джерел;
- заданих часових інтервалів;
- розрахунку значень за основними критеріями їх оцінки.

Процедура *формування експертних панелей* детально розглянута в 4.2. Основними етапами цієї процедури є:

- визначення чисельності експертної групи;
- оцінка рівня компетентності експертів;
- формування остаточного переліку експертів, які братимуть участь у форсайт-дослідженні.

Для визначення необхідного числа експертів скористаємося формулою (4.5). При допустимій помилці експертного аналізу в 5 % ($\varepsilon = 0{,}05$) кількість експертів має бути не менше 32, а згідно з [127] – не менше ніж 7 – 9 осіб. Отже, кількість експертів, що братимуть участь у форсайт-дослідженні, знаходиться в межах $7 \leq N \leq 32$.

Щоб отримати остаточний перелік всіх експертів, які пройшли атестацію, їх ранжують згідно з рівнем компетентності (4.6) (значенням узагальненого показника K_i) відповідно до відношення (4.5).

Отже, в рамках проведеного нами форсайт-дослідження було атестовано 20 кандидатів в експерти – провідні вчені з харківських вузів, з них 12 були відібрані для подальшої участі в експертизі, оскільки саме така їх кількість входить у розрахований раніше допустимий діапазон. Остаточний список експертів, які беруть участь в експертизі, наведено в *табл. 7.1.*

Таблиця 7.1

Список експертів

№ з/п	Код експерта	Узагальнений показник рівня компетентності експерта, K_i	Ранг експерта
1	Fn_0003	1	1
2	Fn_0011	0,98	2
3	Fn_0001	0,93	2
4	Fn_0005	0,91	2
5	Fn_0006	0,87	3
6	Fn_0017	0,81	3
7	Fn_0020	0,74	4
8	Fn_0002	0,72	4
9	Fn_0018	0,7	4
10	Fn_0007	0,65	5
11	Fn_0009	0,61	5
12	Fn_0015	0,57	6

Формування вихідного переліку напрямів наноіндустрії. В якості вихідних даних реалізації даного етапу виступають напрями розвитку нанотехнологій [103]:

I. Наноматеріали.

II. Наноелектроніка.

III. Нанофотоніка.

IV. Нанобіотехнології.

V. Наномедицина.

VI. Методи та інструменти дослідження та сертифікації наноматеріалів і нанопристроїв.

VII. Технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв.

Для формування вихідного переліку ТН скористаємося методами підрахунку кількості публікацій і аналізом кривих динаміки винахідницької активності, з урахуванням прийнятих нами припущень. Розглянемо докладно реалізацію кожного з методів.

З метою виділити «провідні» ТН в *методі підрахунку кількості публікацій* спочатку проводять аналіз кількості прореферованих наукових документів з різних галузей знань, а потім розраховують середню швидкість росту кількості публікацій за певний інтервал часу (від 5-ти і більше років). Для аналізу українського документального потоку з нанотехнологій нами була обрана загальнодержавна реферативна база даних (БД) «Україніка наукова» [134]. Результати даного аналізу за 5-ти річний часовий інтервал (2009 – 2013 рр.) представлені в *табл. 7.2.*

Таблиця 7.2

Розподіл наукових публікацій у наноіндустрії за ТН в 2009 – 2013 рр.

№ з/п	Напрям	Кількість наукових документів (статті, автореферати, книги), шт.						Питома вага в загальній кількості публікацій, %
		2009	2010	2011	2012	2013	Усього	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Наноматеріали	140	108	133	89	40	510	28%
2	Наноелектроніка	36	43	28	26	27	160	9%
3	Нанофотоніка	25	26	31	29	22	133	7%
4	Нанобіотехнології	54	36	13	32	22	157	9%
5	Наномедицина	74	92	91	83	66	406	22%
6	Методи і інструменти дослідження та сертифікації	57	35	42	46	47	227	13%

Закінчення табл. 7.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	наноматеріалів і нанопристроїв							
7.	Технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв	82	43	77	69	72	343	18 %
Усього публікацій		398	392	405	346	272	1813	100 %

Складено за [201].

У *патентному дослідженні,* з метою визначення перспективності конкретного напрямку, проводиться аналіз кривих динаміки винахідницької активності по кожному науково-технічного напряму, який полягає в побудові кумулятивних рядів патентування, які характеризуються зростанням сумарного числа патентів, що відносяться до даного напряму [119]. Як джерело патентної інформації була використана інтерактивна БД «Винаходи (корисні моделі) в Україні» [70]. Пошук здійснювався з тимчасовим інтервалом в 5 років (2009 – 2013 рр.) згідно з міжнародною патентною класифікацією по класу B82 «Нанотехнологія», а також за класами, які належать по суті до нанотехнологій [98]: A61K 9/51 – нанокапсули для медичних препаратів; B05D 1/00 – способи нанесення рідин або інших текучих речовин на поверхню; C01B 31/02 – отримання вуглецю (вуглецеві наноструктури, наприклад, нанотрубки, наноспіралі і т. п.); G01Q 10/00-90/00 – техніка скануючого зонда або пристрою; різні застосування техніки скануючого зонда, наприклад мікроскопія скануючого зонда (SPM); G02F 1/017 – оптичні квантові колодязі; H01F 10/32 – багатошарові структури зі спіновим зв'язком, наприклад наноструктуровані надгратки; H01F 41/30 – способи і пристрої для нанесення наноструктур, наприклад, за допомогою молекулярно-пучкової епітаксії; H01L 29/775 – квантований по дротах польовий транзистор з каналом з кристалічним газоносієм при подачі на затвор напруги однієї полярності (квантові провідники).

На підставі отриманих даних побудуємо кумулятивні криві, що характеризують зростання числа патентів за досліджуваний період (*рис. 7.1*).

	2009	2010	2011	2012	2013
наноматеріали	21	45	63	81	94
наноелектроніка	8	15	24	33	40
нанофотоніка	8	14	16	20	27
нанобіотехнології	12	20	28	37	44
наномедицина	13	24	31	42	59
методи та інструменти дослідження та сертифікації наноматеріалів і нанопристроїв	11	18	30	41	50
технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв	13	20	29	42	55

Рис. 7.1. Зміна сумарної кількості патентів за напрямами нанотехнологій

Для кумулятивних рядів патентування інтенсивність розвитку досліджуваного напряму визначається кутом нахилу кривої динаміки патентування до тимчасової осі, тобто до середніх точок цих ділянок кривих для кожного напряму розвитку проводять дотичні і визначають тангенс кута нахилу дотичної, а на його основі – коефіцієнт вагомості досліджуваного напряму наноіндустрії (*табл. 7.3*), рівний відношенню тангенса до суми

тангенсів кутів нахилу дотичних, який і приймають в якості кількісного показника перспективності досліджуваного напряму.

Таблиця 7.3

Показники перспективних досліджуваних напрямів наноіндустрії

№ з/п	Напрям	$tg\alpha_i$	K_i
1	Наноматеріали	6,5	0,18
2	Наноелектроніка	3,5	0,1
3	Нанофотоніка	3,5	0,1
4	Нанобіотехнології	3,5	0,1
5	Наномедицина	8,5	0,23
6	Методи і інструменти дослідження та сертифікації наноматеріалів і нанопристроїв	4,5	0,12
7	Технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв	6,5	0,18
Усього		36,5	1

Складено за [70].

Таким чином, за результатами проведених бібліометричного і патентного аналізів у вихідний перелік з визначення пріоритетних напрямів розвитку наноіндустрії увійшли ті, які отримали найвищі оцінки, а саме – наноматеріали, наномедицина, методи та інструменти дослідження та сертифікації наноматеріалів і нанопристроїв, а також технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв.

Наступним кроком є розрахунок значень критеріїв, які передбачені національною методикою форсайтних досліджень [95], для кожного з вихідних напрямів. Зазначені критерії, згідно з їх значенням, ділять на кількісні та якісні, що отримані шляхом опитування експертів. Згідно з прийнятими нами допущенням, розрахуємо значення основних критеріїв для кожного з напрямів наноіндустрії.

До кількісних критеріїв з основної групи, значення яких по кожному напряму вказані в результуючій таблиці 6, належать: «Фінансування» (K_ϕ) та «Результативність науково-технічної діяльності» (КНТД). Для отримання

значень за критерієм «Фінансування» за 2013 рік використовувалися дані державної науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014рр. [30]. Критерій «Результативність науково-технічної діяльності» становить сумарний розрахунок індикаторів розвитку даного напряму за останній рік, таких як загальне число діючих патентів вітчизняних та іноземних заявників в Україні; кількість поданих патентних заявок і заявок на корисні моделі; кількість придбаних прав на патенти і патентні ліцензії.

До основних якісних критеріїв, значення яких отримані шляхом експертного оцінювання, належать: застосовність, перспективи виходу на світовий ринок, наявність наукового лідера. Кожен із зазначених критеріїв має бальну оцінку і може приймати такі значення:

Застосовність в найближчому майбутньому ($K_б$): до 3-х років (3 бали); через 3 – 5 років (2 бала); через 5 – 10 років (1 бал).

Перспективи виходу на світовий ринок ($K_{мр}$): має (2 бал); немає (1 бал).

Наявність наукового лідера ($K_{нл}$): має (2 бал); немає (1 бал).

Для визначення значень по кожному з якісних критеріїв експертам необхідно заповнити опитувальну анкету, в якій зазначаються найменування критеріїв і їх можливі значення. Результати опитування по кожному з напрямів зводяться в таблицю. Так, для напряму наноматеріали відповіді експертів розподілилися таким чином (*табл. 7.4*). Список експертів, що беруть участь в опитуванні, наведено в табл. 7.1.

Для обробки групових експертних оцінок необхідно перевірити ступінь узгодженості думок експертів, а потім визначити узагальнену (агреговану) групову оцінку для кожного напряму по кожному з критеріїв. Як показник ступеня узгодженості думок експертів застосовують коефіцієнт варіації [100], що характеризує відносне розсіяння результату. Чим менше коефіцієнт варіації, тим більш злагоджено думку експертів (значення не повинно перевищувати 33 %). Якщо ж узгодженість думок експертів відсутня, проводиться повторне анкетування. Експертам, крім опитувальних анкет, висилається додаткова інформація про предмет експертизи і вони, як правило, коригують свої оцінки. Скоригована інформація знову надхо-

дить в аналітичну групу для перевірки узгодженості. Значення коефіцієнтів варіації експертних оцінок за напрямами наноіндустрії, що беруть участь в оцінці, відображені в *табл. 7.5*.

Таблиця 7.4

Результати експертного оцінювання напрями наноматеріали

Критерії \ Напрями	Експертна оцінка, бал											
	Наноматеріали											
	Експерт											
	Fn_0003	Fn_0011	Fn_0001	Fn_0005	Fn_0006	Fn_00017	Fn_0020	Fn_0002	Fn_0018	Fn_0007	Fn_0009	Fn_0015
Застосовність в найближчому майбутньому ($К_б$)	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3
Перспективи виходу на світовий ринок ($К_{мр}$)	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Наявність наукового лідера ($К_{нл}$)	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2

Складено за [30].

Таблиця 7.5

Значення коефіцієнта варіації для напрямів наноіндустрії

№ з/п	Напрям	V_j, %		
		$К_б$	$К_{мр}$	$К_{нл}$
1	Наноматеріали	17%	32%	32%
2	Наномедицина	20%	28%	30%
3	Методи і інструменти дослідження та сертифікації наноматеріалів і нанопристроїв	19%	33%	32%
4	Технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв	22%	30%	30%

Складено авторами.

Згідно з отриманим значенням коефіцієнта можна зробити висновок про узгодженість думок експертів. Наступний крок – розрахунок групової оцінки кожного ТН [77] з урахуванням вагових коефіцієнтів експертів з табл. (як середньозважену, за методом середніх бальних оцінок). Таким чином, отримуємо множину значень критеріїв для кожного напряму наноіндустрії (*табл. 7.6*).

Таблиця 7.6

Значення основних коефіцієнтів для напрямів наноіндустрії

№ з/п	Напрям	$К_ф$, млн грн	$К_{НТД}$, шт.	$К_б$	$К_{мр}$	$К_{нл}$
1	Наноматеріали	44,5	17	26,96	11,21	11,04
2	Наномедицина	30,7	18	27,33	13,2	10,86
3	Методи і інструменти дослідження та сертифікації наноматеріалів і нанопристроїв	36	12	27,89	11,1	10,93
4	Технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв	65,8	19	28,47	15,82	12,74

Складено авторами.

Вибір пріоритетних напрямів розвитку наноіндустрії. Поставлена задача щодо вибору найбільш пріоритетних напрямів розвитку наноіндустрії відноситься до класу багатокритеріальних задач прийняття рішень (БЗПР). Мета рішення БЗПР полягає у виділенні множини Парето [81], тобто в отриманні напрямів, які мають якомога більш високі оцінки за кожним критерієм.

Всі критеріальні функції f_j відображають корисність тематичного спрямування $x \in X$ з позицій різних критеріїв і повинні бути порівнянними, тобто значення кожної критеріальної функції змінюються в одних і тих же межах $[a, b]$. Для розрахунку значень нових критеріальних функцій $f_j(x)$ скористаємося (6.22) (*табл. 7.7*).

Таблиця 7.7

Значення критеріальних функцій в проміжку [0, 1]

№ з/п	Напрям (x_i)	Критеріальні функції ($\overline{f_j}(x)$ *)				
		$\overline{f_1}(x)$	$\overline{f_2}(x)$	$\overline{f_3}(x)$	$\overline{f_4}(x)$	$\overline{f_5}(x)$
1	Наноматеріали (x_1)	0,61	0,11	0,29	0,01	0,003
2	Наномедицина (x_2)	0,36	0,13	0,3	0,04	0
3	Методи та інструменти дослідження та сертифікації наноматеріалів і нанопристроїв (x_3)	0,46	0,02	0,31	0,004	0,02
4	Технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв (x_4)	1	0,15	0,32	0,09	0,09

*при цьому $\overline{f_1}(x)$ відповідає критерію $K_ф$, $\overline{f_2}(x)$ – $K_{НТД}$, $\overline{f_3}(x)$ – $K_б$, $\overline{f_4}(x)$ – $K_{мр}$, $\overline{f_5}(x)$ – $K_{нл}$.

Зазначені вище числові функції $f_j(x)$ $(j = 1,m)$ утворюють векторний критерій $f = (f_1, f_2, \ldots, f_m)$. Для всякої альтернативи $x \in X$ набір її оцінок за всіма критеріями, тобто набір $(f_1(x), f_2(x), \ldots, f_m(x)) \in R^m$ є векторна оцінка альтернативи x (R^m – простір m-мірних векторів). Всі можливі векторні оцінки утворюють множина можливих оцінок $Y = f(X) = \{y \in R^m \mid y = f(x)$ при деякому $x \in X\}$.

Векторна оцінка містить повну інформацію про цінності (корисності) цієї альтернативи і порівняння будь-яких двох альтернатив замінюється порівнянням їх векторних оцінок. Основне відношення, за яким проводиться порівняння векторних оцінок (значить, і порівняння альтернатив), – це відношення домінування по Парето [101]. Тут кращою вважається така альтернатива, для якої не існує іншої альтернативи краще даної хоча б за одним критерієм і не гірше за неї по всім іншим.

У нашому випадку $m = 5$ и $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$, тобто згідно зі значеннями критеріальних функцій (табл. 7.7) отримаємо наступні векторні оцінки альтернатив:

$$y_1 = (0{,}61;0{,}11;0{,}29;0{,}01;0{,}003),$$
$$y_2 = (0{,}36;0{,}13;0{,}29;0{,}3;0{,}04;0),$$
$$y_3 = (0{,}46;0{,}02;0{,}31;0{,}004;0{,}02),$$
$$y_4 = (1;0{,}15;0{,}32;0{,}09;0{,}09).$$

Для відшукання множині парето-оптимальних векторів вважаємо $Y_1 = Y$ і порівнюємо першу оцінку з іншими. Отримані пари $(y_1, y_2; y_1, y_3; y_1, y_4)$ виявляються непорівнянними по відношенню Парето. Отже, ставиться завдання, звуження вихідної множині альтернатив, а, як наслідок, і множини Парето, з метою вибору декількох альтернатив в якості остаточного результату. Одним з таких методів є метод *t*-упорядкування [104], що використовує ординальну інформацію ОПР про відносну значущість критеріїв.

В якості вихідної інформації для алгоритму *t*-упорядкування приймається множина *S* висловлювань ОПР про відносну важливість приватних критеріїв виду: $S = \{f_k = f_j; ...; f_q > f_p\}$, яку необхідно розширити за рахунок додавання нових транзитивних висловлювань, які є наслідками вже наявних. У нашому випадку згідно [95] маємо наступну множину ординальної інформації про відносну важливість критеріїв $S = \{f_1 = f_3; f_2 > f_5; f_3 > f_4\}$, яка надалі була розширена за рахунок додавання транзитивних висловлювань. Кінцева множина виглядає наступним чином:

$$S = \{f_1 = f_3; f_2 > f_5; f_3 > f_2; f_3 > f_4; f_3 > \\ > f_5; f_1 > f_5; f_1 > f_2; f_1 > f_4\}. \qquad (7.1)$$

З урахуванням отриманої множини (7.1) при порівнянні двох векторних оцінок будується відношення переваги за методом *t*-упорядкування [104]:

$$Z^t \succ W \leftrightarrow [\exists W' \in WE : Z \overset{p}{\succ} W'] \vee [\exists W'' \in WI : Z \underset{\sim}{\overset{p}{\succ}} W''],$$
$$Z \underset{\sim}{\overset{p}{\succ}} W \leftrightarrow \forall j \in [1:m] : z_j \geq w_j \qquad (7.2)$$

де Z, W – векторні оцінки ($Z = (z_1, \ldots, z_m)$; $W = (w_1, \ldots, w_m)$);

WE – множина W-еквівалентних векторів ($f_k = f_j$);

WI – множина W-поліпшених векторів ($f_k = f_j$, $f_q > f_p$).

На підставі (7.2) порівняємо пару векторних оцінок y_1, y_2. Вектор y_1 фіксуємо, а за вектором y_2 отримуємо таку множину поліпшених векторів згідно з (7.1):

$$y'_2 = (0{,}38; 0{,}11; 0{,}3; 0{,}04; 0),$$
$$y''_2 = (0{,}39; 0{,}11; 0{,}29; 0{,}04; 0),$$
$$y''''_2 = (0{,}417; 0{,}11; 0{,}29; 0{,}01; 0{,}003).$$

Отримуємо $y''''_2 \succ y_2$, $y_1 \succ y''''_2 \succ y_2$, отже, $y_1{}^t \succ y_2$.

Отже, вектор y_1 запам'ятовуємо як парето-оптимальний і разом з вектором y_2 видаляємо з множині Y_1. Отримуємо множину $Y_2 = \{y_3, y_4\}$. Вектора y_3 і y_4 не порівняні по Парето, тому до них застосовуємо метод t-впорядкування, при цьому вектор y_3 фіксуємо, а y_4 перетворимо на підставі множини S. Отримуємо:

$$y''''_4 = (0{,}46; 0{,}02; 1{,}146; 0{,}004; 0{,}02),$$
$$y''''_4 \succ y_3,\ y_4{}^t \succ y_3.$$

У підсумку отримуємо таку множину парето-оптимальних векторів

$$P(Y) = \{y_1, y_4\}. \qquad (7.3)$$

На підставі отриманого результату можна зробити висновок, що пріоритетними напрямками розвитку наноіндустрії є наноматеріали і технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв, оскільки їх векторні оцінки складають множину Парето.

Узгодження і затвердження пріоритетних напрямів розвитку наноіндустрії. У рамках розглянутої концепції комплексної автоматизації форсайт-проектів, узгодження та затвердження переліку ТН буде реалізовано відповідно до підходу, викладеному у [36]. Відповідно до цього підходу для реалізації форсайт-проекту синтезується спеціальна комп'ютерна середа, в яку занурені всі учасники проекту.

7.2. Обґрунтування ефективності впровадження запропонованого методичного підходу до реалізації національних форсайт-проектів

Розрахуємо ефект від впровадження розробленого методичного підходу. Ефект виникає внаслідок заощадження трудових, матеріальних або природних ресурсів, це дозволяє збільшити виробництво предметів споживання і послуг, які отримують вартісну оцінку. Ефект досягається шляхом мінімізації витрат з впровадження та застосування методичного підходу, тобто в економії грошових, трудових, часових та інших видів ресурсів.

За даними Державної програми з прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку [15] і звіту НАН України:

- загальна сума запланованих витрат на прогнозно-аналітичне дослідження становить 2000 тис. грн; в тому числі на оплату експертам для участі в анкетуванні – 575 тис. грн;
- у прогнозно-аналітичному дослідженні брало участь 700 експертів з п'ятнадцяти ТН.

Згідно з даними, отриманими в пункті 7.2, що описує реалізацію розробленого методичного підходу на прикладі визначення науково-технологічних пріоритетів наноіндустрії, необхідна кількість експертів для оцінки одного ТН знаходиться в межах від 7 до 32.

Враховуючи сказане, можна розрахувати вартість експертизи для одного експерта: 575000 / 700 ≈ 821 грн. Тоді вартість оцінки одного ТН дорівнює 821 × 32 = 26272 грн, а вартість п'ятнадцяти ТН 394080 грн, при цьому для анкетування 15-ти ТН буде потрібно 480 експертів, в розрахунку 32 експерта на одне ТН. Отже, ефект від впровадження розроблe-

ного методичного підходу складе в грошових ресурсах 575000 – 394080 = =150920 грн або 26 % (7 % від 2000 тис. грн); в трудових ресурсах 700 – 32 × 15 = 220 осіб або 31%.

Описаний ефект виникає внаслідок природних недоліків, які притаманні методу Дельфі. Ці недоліки полягають насамперед у порівняно великій кількості турів опитування, а також досить великій кількості експертів.

Отже, економія трудових (220 осіб або 31 %) та грошових ресурсів (150920 грн або 26 %) при впровадженні розробленого методичного підходу досягається за рахунок застосування формальних засобів, що приводить до підвищення ступеня автоматизації національного форсайт-дослідження (*рис. 7.2*).

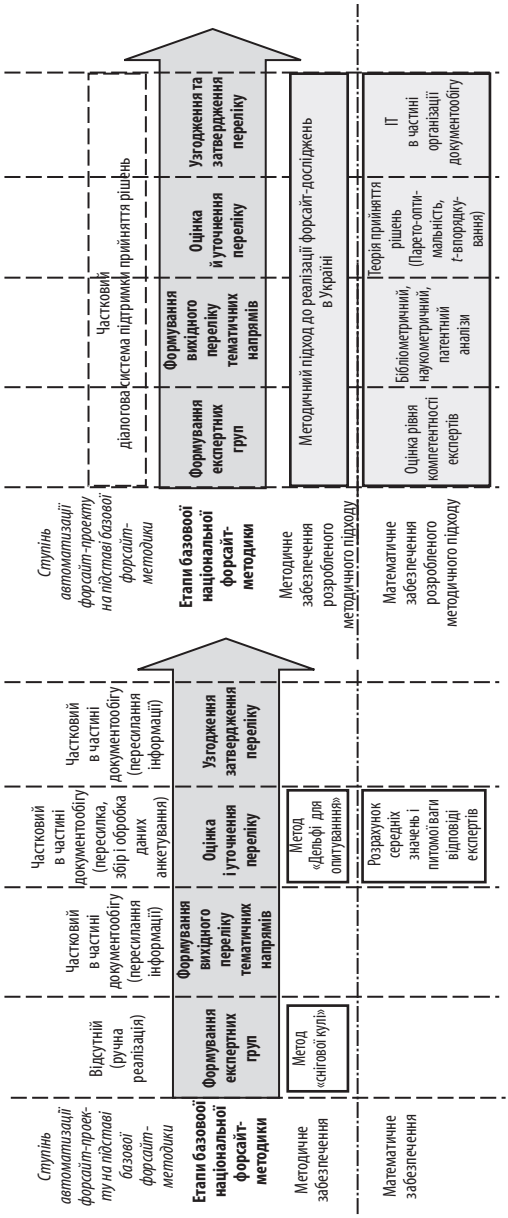

Рис. 7.2. Порівняльні характеристики ступеню автоматизації національних форсайт-досліджень:

а) – базова національна форсайт-методика; б) – розроблений методичний підхід до форсайт-досліджень

ВИСНОВКИ

1. Підтримка конкурентноздатності вітчизняних товаровиробників на зовнішніх та внутрішніх ринках збуту промислової продукції можлива лише за умов нарощування та ефективного використання потенціалу інноваційного розвитку. За цих умов суттєво загострується необхідність в реалізації проектів наукових досліджень, які спрямовані на пошук перспективних напрямів підвищення інноваційної активності суб'єктів промислової діяльності на основі впровадження NBIC-технологій в Україні.
2. Сьогодні практично усі розвинені держави світу вбачають в нанотехнологіях (N) разом з біотехнологіями (B), інформаційними (I) та когнітивними (C) технологіями головний інструмент, за допомогою якого можна буде вирішити в недалекому майбутньому основні глобальні проблеми людства, а саме: депопуляція і старіння населення; нестача продовольства; екологічні проблеми і захист навколишнього середовища; вичерпання природних ресурсів і нова енергетика; перехід до нового технологічного укладу.
3. Існуюча практика визначення загальнодержавних пріоритетів розвитку науки і техніки в Україні тільки в 2011 р. набула більш-менш конкретних форм. Затверджені в 2011 р. пріоритети мають більш чіткі форми, але їх все ще забагато для того, щоб сконцентрувати невеликі обсяги бюджетних коштів на дійсно найважливіших напрямах досліджень, що покликані вирішувати нагальні проблеми людства і специфічні проблеми, які стоять перед Україною.
4. Визначення державою пріоритетних напрямів наукових досліджень у сфері NBIC-технологій відповідно до найважливіших (глобальних) проблем людства, які безпосередньо відносяться й до України, надасть можливість управління відповідними дослідженнями, дозволить раціонально витрачати бюджетні кошти саме на вирішення

найболючіших проблем розвитку промисловості, економіки і суспільства в цілому, а не потурати науковим закладам, що нав'язують державі свою тематику досліджень, до якої вони вже звикли за багато років і яка, зазвичай, вже мало відповідає потребам і держави, і економіки, і суспільства.

5. Сьогодні нанотехнології становлять одну з основних тенденцій розвитку науки й техніки і суспільного прогресу взагалі. Специфіка явищ і процесів, які відбуваються при переході до нанотехнологій, пов'язана із проявом квантових фізичних законів і хвильовою природою мікрочастинок, коли властивості речовин і матеріалів, створених наноелементами, обумовлені не тільки зменшенням структурних елементів, але й хвильовою природою перенесення й домінуючою роллю поверхонь розділу. Як наслідок, людство вступає в таку «виробничу» сферу, де зникає межа між живою і неживою природою.
6. Нанотехнології вже зачіпають і можуть докорінно змінити медицину і біотехнології, енергетику, електроніку, обробну промисловість й багато інших галузей економік країн світу. Перехід до нанотехнологій, а саме до атомного конструювання будь-яких матеріалів, надає найважливіший результат – дематеріалізацію виробництва і різке якісне зменшення енерго- і ресурсоємності. Дослідники, інвестори, фірми вже оцінили можливості нових технологій і усе ширше впроваджують їх у комерційне виробництво. Очевидно, нанотехнології зможуть вийти на повномасштабне комерційне застосування після того, як будуть вирішені три проблеми: самоорганізація наноматеріалів, їхнє самоформування й самоскладання.
7. Визначенню «нанопродукти» відповідають як наноматеріали, так і вироби, створені за допомогою нанотехнологій. Нанопродукти поділяють на первинні і вторинні. Первинним нанопродуктом є власне наноматеріали, які складають ядро ринку нано. Вони використовуються у виробництві товарів кінцевого споживання, які, у свою чергу, являють собою вторинні нанопродукти. Наноматеріали і технології їх одержання сьогодні є реальною науково-технічною осно-

вою ринку, але займають тільки незначну його частку. Значно більшу частку складають вироби, створені з використанням нанотехнологій. Виділяють чотири основні покоління нанотехнологічних матеріалів і продуктів, початок кожного з яких може визначатись появою перших комерційних прототипів (що відповідає певному рівню розвитку нанотехнологій), а саме: пасивні, активні, трьохвимірні і гетерогенні молекулярні наноструктури.

8. Нанотехнологічні інноваційні розробки обіцяють виникнення великої кількості проривних бізнес-проектів, які можуть «підірвати» соціальну рівновагу і одночасно дозволять людству «привести» речовину до якогось коду, що піддається впливу і змінам. У найближчому майбутньому людству доведеться пережити період бурхливого, експоненціального зростання нових технологій, пов'язаного зі злиттям цілого ряду традиційних наук (особливо біології, інформатики тощо) та їхнього взаємного синергетичного збагачення.
9. Нанотехнології значно відрізняються від інших «хвиль» технічного прогресу, оскільки вони пов'язані з суттєвою зміною парадигм розвитку і створюють не тільки нові товари, але й нові потреби або ринки і одночасно обіцяють суттєво скоротити вартість товарів і підвищити їхню якість. Багато запланованих ідей нанотехнологій може мати велику кількість застосувань, що природно, створює складності для інвесторів. Поки що більшість сфер застосування нанонауки припадає на побутову, медичну, інформаційну, енергетичну й сільськогосподарську галузі. Це значить, що більша частина прибутку, швидше за все, опиниться в руках основних промислових гігантів, уже присутніх на ринках. Інвестиції в нові компанії середнього розміру і фірми, що розвиваються, з акцентом на нанотехнологіях окупляться, швидше за все, у сфері біотехнологій через те, що нові й молоді компанії мають свої продукти, процеси, ноу-хау й інтелектуальну власність;
10. У період 2011 – 2014 рр. продажі такого сектора ринку нанопродуктів як «Наноматеріали» у вартісному відношенні зросли більше, ніж у 1,5 рази, а з найбільшим темпом буде розвиватись сегмент «Нано-

композити». За кількістю наноматеріалів, що знаходяться в розробці, домінують полі наночастинки і нанокомпозити. Обсяги сектора «Медицина і біотехнології», що характеризується достатньо довготривалим періодом виведення на ринок нових продуктів, подвояться, але багато з потенційних застосувань у фармацевтиці, біомедицині й медичному обладнанні, відомі на даний момент, навряд чи стануть комерційно доступними у найближчий час. У секторі «Енергетика» у прогнозному періоді пріоритети можуть змінитися: будуть значно зростати сегменти «Сонячна фотоелектрика», «Виробництво синтетичного вуглеводневого палива», «Батареї», «Світлодіоди» і «Виробництво водню», основна частка ринку залишиться за нафтопереробкою. Сьогодні сектор «Електроніка та ІКТ» – це найбільший індустріальний сегмент ринку нанопродуктів, який у вартісному відношенні збільшиться практично в 4 рази. При цьому найбільші темпи зростання покаже сегмент «Оптоелектроніка», хоча основну частку ринку будуть займати нанотехнологічні інструменти для електроніки. Обсяг сектора «Обробна промисловість» у вартісному значенні збільшиться більше, ніж у 1,5 рази, а найбільші темпи зростання покаже сегмент «Нанодатчики». Основна ж частка ринку залишиться за наноката-лізаторами, що пов'язано зі зрілістю технологій і великою кількістю застосувань, які існують.

11. Визначення пріоритетів нанотехнологічних досліджень в Україні носить безсистемний характер, слабо пов'язане з вирішенням глобальних і специфічних проблем країни, не відповідає пріоритетам бюджетного фінансування.
12. Визначення державою пріоритетних напрямів наукових досліджень у сфері нанотехнологій відповідно до найважливіших (глобальних) проблем людства, які безпосередньо відносяться й до України, надасть можливість управління відповідними дослідженнями, дозволить раціонально витрачати бюджетні кошти саме на вирішення найболючіших проблем суспільства, а не потурати науковим закладам, що нав'язують державі свою тематику досліджень, до якої вони

вже звикли за багато років і яка, зазвичай, вже мало відповідає потребам і держави, і суспільства.

13. Необхідна розробка Стратегії розвитку нанотехнологій в Україні відповідно до глобальних проблем людства, створення Національної програми розвитку нанотехнологій в Україні, в якій будуть ув'язані чіткі пріоритети наукових досліджень, забезпечення фінансуванням (за етапами робіт), організаційна підтримка держави, механізми впровадження у підприємницький сектор, критерії результативності заходів та підзвітність відповідальних виконавців перед урядом (за бюджетне фінансування) та підприємцями (за позабюджетні кошти).
14. Існує необхідність у створенні Консультативних робочих груп як із співробітників НАН України та інших наукових закладів, так і за участю незалежних експертів, які мають певний досвід роботи у визначеному напрямку досліджень, для аналізу поточного виконання програм розвитку нанотехнологій, складання прогнозів і уточнення пріоритетів розвитку нанотехнологій в Україні.
15. Науково-технічне прогнозування розвитку наноіндустрії в Україні доцільно проводити у форматі форсайт-дослідження. Українська версія форсайту, основа якої – експертне оцінювання, є недосконалою, внаслідок надлишкової суб'єктивності.
16. Підвищення ефективності українського форсайту лежить в площині його комп'ютеризації. Дискретна природа форсайт-досліджень надає змогу формально його описати у вигляді скінченних автоматів. Мережеві моделі, у загальному випадку, забезпечують адекватність формального подання форсайт-досліджень; серед цих моделей найбільш придатним інструментом подання форсайт-досліджень є Joiner-мережа. Для оцінювання кількісного та якісного складу експертних груп припустимо використання емпіричних залежностей.
17. Для формування вихідного переліку ТН доцільно використовувати методи бібліометрії, наукометрії та патентного аналізу. Огляд методів, що придатні для вибору пріоритетних ТН, дозво-

лив вибрати в якості раціональних методи Парето-оптимальності і *t*-впорядкування. Існуючих натепер критеріїв оцінки ТН достатньо для побудови у перспективі комп'ютерного середовища реалізації національних форсайт-досліджень, зокрема, розвитку наноіндустрії.

18. За результати попереднього форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії в Україні можна зробити висновок, що пріоритетними напрямками розвитку наноіндустрії є наноматеріали і технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв, оскільки їх векторні оцінки складають множину Парето. У рамках розглянутої концепції комплексної автоматизації форсайт-проектів, узгодження та затвердження переліку ТН буде реалізовано відповідно до підходу, коли для реалізації форсайт-проекту синтезується спеціальна комп'ютерна середа, в яку занурені всі учасники проекту.
19. Впровадження розробленого методичного підходу досягається за рахунок застосування формальних засобів, що підвищує ступень автоматизації національного форсайт-дослідження розвитку наноіндустрії. Економічний ефект від впровадження розробленого методичного підходу може скласти в грошових ресурсах 26 %, а в трудових – 31 %.

ЛІТЕРАТУРА

1. Концепція цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми водневої енергетики» / Додаток 1 до Постанови Президії НАН України від 13.03.2006 р. №183 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2006 /regulations/OpenDocs/060630_183_an1.pdf

2. Концепція Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nano.nas.gov.ua/UA/nasu/ nanoprogramms/Pages/WorkingGroup.aspx – Назва з екрану.

3. Концепція Комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали та нанотехнології» за напрямами у період 2007 – 2009 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http//www.nanotech.nas.gov.ua/Activity/ScientificEffort/ComplexProgram/Pages/ 01.aspx – Назва з екрану.

4. Постанова Бюро Президії НАН України від 31.01.08 р. №23 «Перелік найважливіших напрямів наукових досліджень і розробок». [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nas.gov.ua/infrastructure/Legaltexts/Research Topics/2008

5. Постанова Кабінету Міністрів України «Про Державну програму прогнозування науково-технологічного розвитку в Україні на 2008 – 2012 рр.» від 11.09.2007 р. №1118 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1118-2007-%D0%BF

6. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 року» від 07 вересня 2011 р. № 942 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/942-2011-%D0%BF

7. Постанова КМУ від 28.10.09 р. № 1231 «Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon.nau.ua/doc/?code=1231-2009-%EF – Назва з екрану.

8. Постанова НАНУ № 129 від 05.05.2010 «Про виконання цільової програми фундаментальних досліджень НАН України «Наноструктурні системи, наноматеріали та нанотехнології» за 2007–2009 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nauka.kiev.ua/index.php/ru/men35/men352 – Назва з екрану.

9. Про виконання цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології» за 2007 – 2009 рр. / Постанова НАНУ № 129 від 05.05.2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www1.nas.gov.ua / infrastructures/Legaltexts/nas/2010/regulations/Pages/129.aspx

10. Про цільову комплексну програму фундаментальних досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми створення нових речовин і матеріалів хімічного виробництва» / Розпорядження Президії НАН України від 04.07.2011 р. № 443 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2011/directions/OpenDocs/110704_443_concept.pdf

11. Концепція цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології» за 2010 – 2014 рр. / Додаток до Постанови НАНУ № 129 від 05.05.2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www1.nas.gov.ua/infrastructures/Legaltexts/nas/2010/regulations/OpenDocs/100505_129_concept.pdf

12. Концепція Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nano.nas.gov.ua/UA/nasu/nanoprogramms/Pages /WorkingGroup.aspx

13. України «Про внесення змін до закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки»» : закон України від 01 червня 2010 р.

№ 2296-VI [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2519-17

14. Про затвердження Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку на 2004 – 2006 роки: Постанова Кабінету Міністрів України від 25 серпня 2004 року № 1086 // Офіційний вісник України. – 2004. – № 34. – ст. 2254.

15. Про наукову і науково-технічну діяльність: закон України від 1 грудня 1998 р. №285-XIV // Відомості Верховної Ради України. – 1999.– № 23. – ст. 20.

16. Про організацію виконання Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку на 2004 – 2006 роки: наказ-розпорядження від 29 жовтня 2004 року № 825/471 // Управління освітою. – 2005. – № 2. – ст. 8.

17. Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні: закон України від 16 січня 2003 р. № 433-IV // Відомості Верховної Ради України. – 2003. – № 13. – ст. 354.

18. Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки [Текст]: закон України від 11 липня 2001р. № 2623-III // Відомості Верховної Ради України. 2001. – № 48. – С. 253.

19. Структура Комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали та нанотехнології» за напрямами у період 2003 – 2006 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http//www.nanotech.nas.gov.ua/2003_2006/Pages/ default.aspx – Назва з екрану.

20. Структура Комплексної програми фундаментальних досліджень «Наноструктурні системи, наноматеріали та нанотехнології за напрямами у період 2007–2009 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http//www.nanotech.nas.gov.ua/Activity/ScientificEffort/ComplexProgram/Pages/01.aspx.

21. Автоматное управление асинхронными процессами в ЭВМ и дискретных системах / Под ред. Варшавского В. И. – М.: Наука, 1986. – 308 с.

22. Айвазян, С. Прикладная статистика и основы эконометрики [Текст] / С. Айвазян, В. Мхитарян. – М.: ЮНИТИ-ДАТА, 2001. – Т. 2. – 432 с.

23. Айзерман, М. А. Логика. Автоматы. Алгоритмы [Текст] / М. А. Айзеран, Л. А. Гусев, Л. И. Розоноэр и др. – М.: Наука, 1963. – 556 с.

24. Алфимов, М. В. Нанотехнологии: определения и классификация [Текст] / М. В. Алфимов, Л. М. Гохберг, К. С. Фурсов // Российские нанотехнологии, 2010. – Т.5.– №7 – 8. – С. 8 – 15.

25. Андрейчиков, А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике [Текст] / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.

26. Андриевский Р. Н. Наноматериалы: концепция и современные проблемы // Российский химический журнал, 2002. – № 5. – Т. 46. – С. 50 – 56.

27. Аршинский, В. Л. Моделирование ситуаций с использованием когнитивных карт и Joiner-сетей [Текст] / В. Л. Аршинский, Д. А. Фартышев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2008. – С. 148 – 151.

28. Асеев А. Л. Нанотехнологии и наноматериалы / А. Л. Асеев // Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Сборник статей под ред. П. П. Мальцева.– М.: Техносфера, 2005.– 592 с.

29. Ахо, А. Структуры данных и алгоритмы: пер. с англ. А. Ахо, Д. Хопкрофт, Д. Ульман. – М.: Вильямс, 2003. – 382 с.

30. Бабкин Е. А. Событийные модели дискретных систем. – Курск. гос. ун-т. Курск, 2005. – 18 с. Деп. в ВИНИТИ 14.01.05, № 30-В2005.

31. Бандурин, А. В. Инвестиционная стратегия корпорации на региональном уровне [Текст] / А. В. Бандурин, Б. А. Чуб. – М.: Наука и экономика, 1998. – 132 с.

32. Бешелев, С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.

33. Бойко Н. М. Особливості розвитку нанотехнологій в Україні // Материалы XV международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы инновационного развития экономики: Региональное инновационное развитие: политика, управление, законодательство», 13 – 18.09.10, Алушта, 2010. – С. 28 – 31.

34. Большой бухгалтерский словарь / Под ред. А. Н. Азриляна. – М.: Институт новой экономики, 1999. – 574 с.

35. Борисов, А. Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений [Текст] / А. Н. Борисов, А. В. Алексеев, Г. В. Меркурьева. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.

36. Бруммер, В. Многообразие в Форсайт-исследованиях. Практика отбора инновационных идей [Текст] / В. Бруммер, Т. Коннола, А. Сало // Форсайт. – 2010. – №4 – С. 59.

37. Бурдонов И. Б., Косачев А. С., Кулямин В. В. Асинхронные автоматы: классификация и тестирование. // Труды ИСП РАН. 2003. – №4. – С. 7 – 84/

38. Ватсон, Г. Стратегический бенчмаркинг: как оценить вашу компанию относительно лучших компаний мира [Текст] / Г. Ватсон. – США, Нью-Джерси: John Wiley & Sons Inc., 1993. – 269 с.

39. Вишневский, В. Ситуационный центр как инструмент для проведения форсайтных исследований [Текст] / В. Вишневский, С. Симонов // ITHEA: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Киев, 2010. – С. 40 – 45.

40. Віннікова Н. М. Стан розвитку програм в сфері нанотехнологій в Україні // Проблемы и перспективы развития экономики : Материалы XVI международной научно-практической конференции (Алушта, Украина, 12 – 16.09.11 г.) – Симферополь: ИТ АРИАЛ, 2011. – С. 199 – 206.

41. Воверене, О. И. Библиометрия – структурная часть методологии информатики потоков [Текст] / О. И. Воверне // НТИ. – 1985. – Сер. 1. – № 7. – С. 1 – 5.

42. Гаврилова, Т. А. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем [Текст] / Т. А. Гаврилова, К. Р. Червинская. – М.: Радио и связь, 1992. – 200 с.

43. Гапоненко, Н. В. Форсайт. Теория. Методология. Опыт: монография [Текст] / Н. В. Гапоненко – Изд-во: Юнити-Дана, 2012. – 238 с.

44. Глубинный анализ текстов технология эффективного анализа текстовых данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.visti.net/~dwl/art/dz/

45. Глухіх, І. М. Інтелектуальні інформаційні системи: навч. посібник для студентів закладів вищ. проф. освіти / І. М. Глухіх; М-во освіти і науки Рос. Федерації, Тюм. держ. ун-т. – М.: Академія, 2010. – 110 с.

46. Головин Ю. И. Наномир без формул / Ю. И. Головин; под ред. проф. Л. Н. Патрикеева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 543 с.

47. Головин Ю. И. Нанотехнологическая революция стартовала! [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.abitura.com /modern_physics/nano/nano2.html

48. Головин Ю. И. Введение в нанотехнику / Ю. И. Головин. – М.: Машиностроение, 2007. – 496 с.

49. Григорьев, В. М. Эксперты в системе управления общественным производством [Текст] / В. М. Григорьев. – М.: Мысль, 1976. – 156 с.

50. Гугеля, А. В. Інноваційний менеджмент: підручник [Текст] / А. В. Гугеля – М.: Дашков і К, 2008. – 336 с.

51. Гурков, И. Б. Стратегический менеджмент организации [Текст] / И. Б. Гурков. – М.: ТЕИС, 2004. – 239 с.

52. Данова, М. А. Методика выбора приоритетов при прогнозировании научно-технического развития крупномасштабных объектов на основе технологии форсайт [Текст] / М. А. Данова // Авиационно-космическая техника и технология. – № 7(104). – Х.: «ХАІ», 2013. – С. 227 – 231.

53. Данова, М. А. Автоматизация процесса прогнозирования научно-технического развития региона на основе технологии форсайт [Текст] / М. А. Данова // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: тез. докл. XIII Междунар. науч.-техн. конф. студ., асп. и мол. ученых 25 – 26 апреля 2013. – Гомель, 2013. – С. 476 – 478.

54. Данова М. А. Синтез модели выбора приоритетных тематических направлений при создании прогнозов научно-технического развития на основе методологии форсайт [Текст] / М. А. Данова // зб. наук. пр. Військового ін-ту КНУ ім. Т. Г. Шевченко. – К., 2014. – Вип. 46. – С.89 – 95.

55. Денисов, Ю. Д. Технологическое прогнозирование и научно-технические приоритеты в индустриально развитых странах [Текст] / Ю. Д. Денисов, А. В. Соколов. – М.: ЦИСН, 1998. – 235 с.

56. Довгостроковий прогноз науково-технологічного розвитку Російської Федерації на період до 2025 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.strf.ru/attach/prognoz_.doc

57. Дорохов А. А. Технология принятия оперативных решений: тексты лекций // А. А. Дорохов, Л. В. Курков. – М.: МАИ, 1989. – 42 с.

58. Дубов, Ю. А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем [Текст] / Ю. А. Дубов, С. И. Травкин, В. Н. Якимец – М.: Наука, 1986. – 296 с.

59. Дуброва, Е. А. Статистические методы прогнозирования. [Текст] / Е. А. Дуброва – М.: ЮНИТИ, 2003. – 50 с.

60. Дэвид, Г. Метод парных сравнений [Текст] / Г. Дэвид. – М.: Статистика, 1978. – 144 с.

61. Евланов, Л. Г. Экспертные оценки в управлении [Текст] / Л. Г. Евланов, В. А. Кутузов. – М.: Экономика, 1978. – 133 с.

62. Елтаренко, Е. А. Обработка экспертных оценок: учеб. пособие [Текст] / Е. А. Елтаренко, Е. К. Крупинова. – М.: МИФИ, 1982. – 98 с.

63. Загальнодержавна реферативна база даних «Україніка наукова» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=REF_EX&P21DBN=REF&S21CNR=20&Z21ID

64. Зведений прогноз науково-технологічного та інноваційного розвитку України на найближчі 5 років та наступне десятиліття. – К. : Фенікс, 2007. – 152 с.

65. Звіти НАН України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nas.gov.ua/UA/Results/Pages/Reports.aspx

66. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2006 році, Ч.2. – К.: ВД «Академперіодіка», 2007. – 198 с.

67. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2007 році, Ч.2. – К.: ВД «Академперіодіка», 2008. – 184 с.

68. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2008 році, Ч.2. – К.: ВД «Академперіодіка», 2009. – 218 с.

69. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2009 році, Ч.2. – К.: ВД «Академперіодіка», 2010. – 192 с.

70. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2010 році, Ч.2. – К.: ВД «Академперіодіка», 2011. – 194 с.

71. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2011 р. [Текст]. – К.: ВД «Академперіодика», 2012. – Ч.2. – 198 с.

72. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2012 р. [Текст]. – К.: ВД «Академперіодика», 2013. – 564 с.

73. Звіт про діяльність Національної Академії наук України у 2013 р. [Текст]. – К.: ВД «Академперіодика», 2014. – 560 с.

74. Інститут систем та інновацій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.isi.fraunhofer.de/isi-en/

75. Ильенкова, С. Д. Инновационный менеджмент [Текст]: учеб.-метод. комплекс. / С. Д. Ильенкова, В. И. Кузнецов, С. Ю. Ягудин. – М.: МЭСИ. 2009. – 192 с.

76. Интеграция информационных технологий в системных исследованиях энергетики [Текст] / JI. В. Массель, Е. А. Болдырев, А. Ю. Горнов и др. / под ред. Н. И. Воропая. – Новосибирск: Наука, 2003. –320 с.

77. Интерактивная БД «Изобретения (полезные модели) в Украине» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://base.ukrpatent.org/searchINV/

78. Казанцев А. К., Кисилев В. Н., Рубвальтер Д. А., Руденский О. В. NBIC-технологии: Инновационная цивилизация XXI века / под ред. д. э. н. А. К. Казанцева и д. э. н. Д. А. Рубвальтера. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 384 с.

79. Калина А. В. Современный экономический анализ и прогнозирование (микро- и макроуровни) [Текст] / А. В. Калина, М. И. Конева, В. А. Ященко – М.: МАУП, 2003. – 416 с.

80. Карпов, Ю. Г. Теория автоматов: учеб. для вузов [Текст] / Ю. Г. Карпов – СПб: ПИТЕР, 2003. – 208 с.

81. Кейси П. Технологии наночастиц и их применение // Наноструктурные материалы. Под ред. Р. Ханнинка, А. Хилл.– М.: Техносфера, 2009.– 488 с.

82. Кизим М. О. Перспективи розвитку і комерціалізації нанотехнологій в економіках країн світу та України: монографія / М. О. Кизим, І. Ю. Матюшенко. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2011. – 392 с.

83. Кинэн, М. Технологический форсайт – международный опыт [Текст] / М. Кинэн // Форсайт. – 2009. – №3(11). – С. 60 – 67.

84. Коваленко, И. И. Экспертные технологи поддержки принятия решений [Текст]: моногр. // И. И. Коваленко, А. В. Швед. – Николаев: Илион, 2013. – 216 с.

85. Комаров, В. Ф. Управленческие имитационные игры [Текст] / В. Ф. Комаров. – Новосибирск: Наука, 1989. – 272 с.

86. Котов В. Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984.– 160 с.

87. Кудрявце, А. В. Методы интуитивного поиска технических решений [Текст] / А. В. Кудрявцев. – М.: Радио и связь, 1991. – 170 с.

88. Лавриненко И., Крюкова С. Нанопрогресс и нанопурга // Эксперт, 2010. – № 50.– С. 20 – 22.

89. Ларичев, О. И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О. И. Ларичев. – М.: Логос, 2002. – 392 с.

90. Липский В. Комбинаторика для программистов. – М.: Мир, 1988.

91. Литвак Б. Г. Экспертная информация: методы получения и анализа [Текст] / Б. Г. Литвак. – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.

92. Майсак О. С. SWOT-анализ: объект, факторы, стратегии. Проблема поиска связей между факторами [Текст] / О. С. Майсак // Управление и высокие технологии. – 2013. – № 1 (21). – С. 151 – 157.

93. Маліцький Б. А. Обґрунтування системи науково-технологічних та інноваційних пріоритетів на основі «форсайтних» досліджень / Б. А. Маліцький, О. С. Попович, М. В. Онопрієнко. – К.: Фенікс, 2008. – 86 с.

94. Маліцький Б. А. Перспективні напрями науково-технічного та інноваційного розвитку України / Б. А. Маліцький, О. С. Попович, В. П. Соловйов. – К. : Фенікс, 2006. – 208 с.

95. Маліцький Б. А. Методичні рекомендації щодо проведення прогнозно-аналітичного дослідження в рамках Державної програми прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку України [Текст] / Б. А. Маліцький, О. С. Попович, В. П. Соловйов – К.: Фенікс, 2004. – 52 с.

96. Матюшенко І. Ю. Співвідношення глобальних проблем людства, пріоритетів науково-технічної діяльності та національних проектів в Україні / І. Ю. Матюшенко // Біизнес Інформ, 2011. – № 4. – С. 7 – 11.

97. Метод Дельфи [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://inventech.ru/pub/methods/metod-0013/

98. Мицич, П. П. Как проводить деловые беседы [Текст] / П. П. Мицич. – М.: Экономика, 1987. – 208 с.

99. Нагель Дэвид Дж., Смит Ш. Нанодатчики: разработки, перспективы и разнообразие применения // Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. – М.: Техносфера, 2008. – 352 с.

100. Налимов В. В. Наукометрия. Изучения развития науки как информационного процесса [Текст] / В. В. Налимов, З. М. Мульченко. – М.: Наука, 1969. – 192 с.

101. Наноматериалы и нанотехнологии / Ж. И. Алферов, П. С. Копьев, Р. А. Сурсис и др. // Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам. Сборник статей под ред. П. П. Мальцева. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

102. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника / Сб. статей под ред. П. П. Мальцева. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

103. Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження [Текст]: моногр. / Г. О. Андрощук, А. В. Ямчук, Н. В. Березняк та ін. – К.: УкрІНТЕІ, 2011. – 275 с.

104. Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження / Г. О. Андрощук, А. В. Якимчук, Н. В. Березняк та ін.: моногр. – К.: УкрІНТЕІ, 2011. – 275 с.

105. Нанотехнологія та її інноваційний розвиток: монографія / В. С. Пономаренко, Ю. Ф. Назаров, В. П. Свідерський, І. М. Ібрагімов. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2008. – 280 с.

106. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде [Текст] / В.Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2002. – 176 с.

107. Ноэль Э. Массовые опросы: пер. с нем. [Текст] / Э. Ноэль. – М.: Прогресс, 1978. – 129 с.

108. Об утверждении плана мероприятий по реализации основ политики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу [Текст]: распоряжение Правительства РФ от 7 февраля 2006 г. № 156 // Собр. законодательства РФ. – 2003. – № 30. – с. 150.

109. Опря А. Т. Статистика [Текст]: навч. посібник // А. Т. Опря – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 448 с.

110. Орлов А. И. Прикладная статистика [Текст] / А. И. Орлов. – М.: Экзамен, 2006. – 656 с.

111. Перспективные направления развития российской отрасли информационно-коммуникационных технологий [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.riocenter.ru/files/RBC-7.pdf

112. Петровский, А. Б. Теория принятия решений : учеб. для студ. высш. учеб. завед. [Текст] / А. Б. Петровский. – М.: Академия, 2009. – 400 с.

113. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984.– 264 с.

114. Попович А. С. Что осталось от методологии иерархии приоритетов в новой редакции Закона Украины «О приоритетных направлениях

науки и техники» / А. С. Попович // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики. Региональное инновационное развитие: политика, управление, законодательство. Материалы XV международной научно-практической конференции, Киев – Симферополь – Алушта, 2010. – С. 232 – 238.

115. Постановление Правительства Российской Федерации от 17 октября 2006 г. №613 О федеральной целевой программе «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 – 2012 годы».

116. Поспелов Г. С. Программно-целевое планирование и управление: учеб. пособие [Текст] / Г. С. Поспелов, В. А. Ириков. – М.: Экспо, 2008. – 446 с.

117. Поспелова И. И. Многокритериальные задачи принятия решений: ечеб. пособие [Текст] / И. И. Поспелова, Л. А. Лотов. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

118. Постников, В. Н. Анализ подходов к формированию состава экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений [Текст] / В. Н. Постников // Наука и образование. – 2012. – №5. – С. 333 – 346.

119. Рабочая книга по прогнозированию [Текст] / [Э. А. Араб-Оглы и др.; редкол.: И. В. Бестужев-Лада (отв. ред.) и др.]. – М.: Мысль, 1982. – 430 с.

120. Райфа, Х. Прикладная теория статистических решений [Текст] / Х. Райфа, Р. Шлейфер – М.: Статистика, 1977. – 360 с.

121. Рамбиди Н. Г. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры / Н. Г. Рамбиди. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 256 с.

122. Рассел Д. А. Конвергенция технологий – новая детерминанта развития общества // Новые технологии и продолжение эволюции человека? Трансгуманистический проект будущего / отв. ред. В. Прайд, А. В. Коротаев. – М. : Издательство ЛКИ, 2008. – С.47 – 84.

123. Роко М. К. Конвергенция и интеграция / Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности // под ред. Л. Фостер; пер. з англ. – М. : Техносфера, 2008. – 352 с.

124. Руденков, В. М. Международное патентно-лицензионное дело: курс лекций [Текст] / В. М. Руденков. – Мн.: БГУ, 2004. – 147 с.

125. Рынок нано: от нанотехнологий – к нанопродуктам / Г. Л. Азоев и др.; под. ред. Г. Л. Азоева. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 319 с.

126. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

127. Садыкова А. Р. Теория принятия решения. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие [Текст] / А. Р. Садыкова. – МГУТУ, 2004. – 51 с.

128. Салимьянова И. Г. Форсайт как инструмент определения приоритетных направлений науки и технологий [Текст] / И. Г. Салимьянова // Современные наукоемкие технологии. – 2011. – № 1. – С. 95 – 97.

129. К. Г. Самофалов, А. М. Романкевич, В. Н. Валуйский, Ю. С. Каневский, М. М. Пиневич «Прикладная теория цифровых автоматов».– Киев, Вища Школа, 1987.

130. Саркисян С. А. Научно-техническое прогнозирование и программно-целевое планирование в машиностроении [Текст] / С. А. Саркисян – М.: Машиностроение, 1987. – 318 с.

131. Сидельников Ю. В. Теория и организация экспертного прогнозирования [Текст] / Ю. В. Сидельников. – М.: инс-т МЭМО АН СССР, 1990. – 195 с.

132. Сидельников Ю. В. Экспертиза: состояние и тенденции развития [Текст] / Ю. В. Сидельников // Полис. – 1996. – №5. – С. 169.

133. Скорняков Э. П. Методические рекомендации по проведению патентных исследований [Текст] / Э. П. Скорняков, Т. Б. Омарова, О. В. Челышева. – М.: ИНИЦ Роспатента, 2000. – 87 с.

134. Смирнов Э. А. Управленческие решения: учеб. для ВУЗ-ов [Текст] / Э. А. Смирнов. – М.: ИНФРА, 2001. – 264 с.

135. Соколов А. В. Долгосрочное прогнозирование тенденций развития образования методами Форсайт [Текст] / А. В. Соколов // Вопросы образования. – 2004. – № 3. – С. 66 – 76.

136. Состояние форсайт-исследований в России [Текст] / Владимир Козлов, Владимир Третьяк // Экономические стратегии. – 2012. – № 4. – С. 30 – 41.

137. Столяров Л. Н. Joiner-сеть для моделирования взаимодействующих параллельных процессов [Текст] / Л. Н. Столяров // Моделирование процессов управления: сб. науч. трудов Моск. физ.-тех. ин-т. – М.– 2004. – С. 81 – 97.

138. Стратегический глобальный прогноз 2030. Расширенный вариант [Електронний ресурс]. – Режим доступу:http://www.imemo.ru/index.php?page_id=645&id=517

139. Уильямс Л., Адамс У. Нанотехнологии без тайн / Л. Уильямс, У. Адамс; пер. с англ. – М.: Эксмо, 2009. – 368 с.

140. Форсайт-дослідження в Україні [Електроний ресурс] – Режим доступу: http://foresight.nas.gov.ua/

141. Хайтун С. Д. Наукометрия: состояние и перспективы. [Текст] / С.Д. Хайтун – М.: Наука, 1983. – 344 с.

142. Ханк Д. Э. Бизнес-прогнозирование: пер. с англ. [Текст] / Д. Э. Ханк, Д. У. Уичерн, А. Дж. Райтс – М.: Вильямс, 2003. – 652 с.

143. Что такое Форсайт? [Электронный ресурс] / Международный научно-образовательный Форсайт-центр, Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://foresight.hse.ru

144. Шелюбская Н. В. Форсайт – механизм определения приоритетов формирования общества знаний стран Западной Европы [Текст] / Н. В. Шелюбская. – К.: Фенікс, 2007.

145. Шостак И. В. Комплексная компьютеризация процесса прогнозирования научно-технического развития региона на основе онтологий [Текст] / И. В. Шостак, М. А. Данова // Информационные системы и технологии: ИСТ-2012: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 75-летию В. В. Свиридова. – Х., 2012. – С. 83.

146. Шостак И. В. Методи комп'ютеризації процесу прогнозування науково-технічного розвитку з використанням методології форсайт [Текст]

/ І. В. Шостак, М. О. Данова // Людина і Космос: тез. доп. XVI Міжнар. молод. наук.-практ. конф. 9 – 11 квітня 2014 г. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 136.

147. Шостак И. В. Проблемы комплексной компьютеризации процесса прогнозирования научно-технического развития региона [Текст] / И. В. Шостак, М. А. Данова // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – № 7(59). – Х.: ХАІ, 2012. – С. 236 – 240.

148. Энергетический форсайт РФ на долгосрочную перспективу [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://energy.csr-nw.ru/about

149. Янч, Е. Прогнозування науково-технічного прогресу [Текст] / Б. Янч. – вид-во: Прогрес, 1980. – 568 с.

150. An experimental application of the Delphi method to the use of experts: Rand report / Rand Corporation; Dalkey N.C., Helmer-Hirschberg O. – California, 1962. – 16 p. – No. RM-727-PR.

151. APEC Technology Foresight Network. A Concept Paper by the National Research Council of Canada in Cooperation with the APEC Center for Technology Foresight, Bangkok [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/mat077e/html/mat077ie.html

152. Apel H. Die Zukunftswerkstatt als Baustein sozialer Problemlösungstechniken [Text] / H. Apel, B. Günther // Mediation und Zukunftswerkstatt. – Frankfurt, 1999. – P. 14 – 31.

153. Barber, C. B. The Quickhull Algorithm for Convex Hulls [Text] / C. B. Barber, D. P. Dobkin, H. T. Huhdanpaa // ACM Transactions on Mathematical Software. – New York, 1996. – Vol. 22, №.4. – P. 469 – 483.

154. Clar G., Acheson H., Hafner-Zimmermann S., Sautter B., Buczek M., Allan J. Strategic Policy Intelligence Tools. Enabling Better RTDI Policy-Making in Europe's Regions. Stuttgart: Steinbeis-Edition, 2008.

155. Cuhls, K. and Grupp H. Status and prospects of technology foresight in Germany after ten years [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/mat077e/html/mat077ae.html

156. Cuhls K. Foresight in Germany / Georghiou L., Cassingena Harper J., Keenan M., Miles I., Popper R. (eds.). The Handbook of Technology Foresight. Cheltenham: Edward Elgar, 2008.

157. Data mining – технология управления знаниями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://sites.google.com/site/upravlenieznaniami/tehnologii-upravlenia-znaniami/data-mining

158. Deiaco, E. Technology Foresight in Sweden [Електроний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/mat077e/html/mat0777e.html

159. Developing futures for agriculture in the Netherlands: a systematic exploration of the strategic value of foresight//Journal of Forecasting/Volume 22, Issue 2-3, March – April 2003, Pages: 219–233, Barend van der Meulen, Jan de Wilt and Hans Rutten.

160. De Wild M., Berner S., Suzuki H., Ramoino L., Baratoff A. And Jung T. A. «Molecular Assembly and Self-Assembly – Molecular Nanoscience for Future Technologies», Annals of the New York Academy of Sciences 1006 (1), 2003: P.291 – 305.

161. Feynman R. There's Plenty of Room at the Bottom: an invitation to enter a new field of physics / R.P. Feynman // Engineering & Science (California Institute of Technology) February 1960. – PP. 22 – 36. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nano.xerox.com/nanotech/ feynman.html. Російський переклад: Химия и жизнь, 2002. – №12. – С. 21 – 26.

162. Foresight and Optimisation in Horizon 2020 [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.rand.org/randeurope/research/projects/foresight-optimisation-horizon-2020.html

163. Foresight projects from Government Office for Science https://www.gov.uk/government/collections/foresight-projects.

164. Fundamentals of Technology Roadmapping: Sandia report / Sandia National Laboratories; M. Garcia, O. Bray. – California, 1997. – 34 p. – No. SAND97-0665.

165. FUTUR – German Research Dialogue [Electronic resource] – Access mode: http://www.futur.de

166. Georghiou, L (1996) «The UK Technology Foresight Programme», Futures.– vol. 28(4).– pp. 359 – 377

167. Gleiter H. Deformation of Polycristals: Mechanisms and microstructures // Proc. of 2nd RISO Symposium on Metallurgy and Materials Science. Roskilde. 1981. P. 15 – 21

168. Gleiter H. Nanostructured Materials: basic concepts and microstructure // Acta Materialia, 2000. – Vol. 48.– № 1. – P. 1 – 29.

169. Hassani, H., Heravi, S. and Zhigljavsky, A. (2013), Forecasting UK Industrial Production with Multivariate Singular Spectrum Analysis. J. Forecast., 32: 395–408. doi: 10.1002/for.2244

170. Home/Japan Science and Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.jst.go.jp/EN/

171. Hungarian Technology Foresight Programme http://www.nih.gov.hu/english/technology-foresight/hungarian-technology

172. Keenan M., Popper R. Comparing Foresight 'Style' in Six World Regions // Foresight, 2008, v. 10, № 6. Kuhlmann S. et al. Distributed Intelligence in Complex Innovation Systems / Final report of the Advanced Science and Technology Policy Planning Network (ASTPP). Karlsruhe, 1999.

173. Kodama F (1992) Technology Fusion and the new R&D Harvard Business Review July-August, pp. 70 – 78.

174. Kuwahara, T. Technology Foresight in Japan – The Potential and Implications of DELPHI Approach [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/mat077e/html/mat077ee.html

175. Loveridge, D. United Kingdom Foresight Programme [Text] / D. Loveridge, L. Georghiou, M. Neveda PREST. — University of Manchester, 2001 – 200 p.

176. MacDonald N.C. «Nanostructures in Motion: Micro-Instruments for Moving Nanometer-Scale Objects», in G. Timp (ed.) Nanotechnology, 1999. New York: AIP1» Springer.

177. Martin, B.R. Technology foresight for wiring up the national innovation system: experiences in Britain, Austria, and New Zealand [Text] / B.R. Martin,

R. Johnston // Technological Forecasting and Social Change. – 1999. – Vol. 60, № 1. – P. 37 – 54.

178. Martin, B.R. Technology foresight in a rapidly globalizing [Text] / Ben R. Martin // International Practice in Technology Foresight. Vienna: UNIDO. – 2002. – P.14.

179. National Institute of Science and Technology Policy http://www.nistep.go.jp/en/

180. RPM-methodology [Electronic resource] – Access mode: http://rpm.aalto.fi/

181. Popper S., Wagner C., Larson E. New Forces at Work. Industry Views Critical Technologies. Rand, Washington, 1998.

182. SWOT-аналіз – основа формування маркетингових стратегій: навч. посіб. [Текст] / за ред. Л. В. Балабанової. – К.: Знання, 2005. – 301 с.

183. Tegart, G. Experience of the APEC Center for Technology Foresight [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/mat077e/html/mat077fe.html

184. Technology Foresight: manual [Text]. – Vienna.: UNIDO, 2005. – 261 p.

185. The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice [Text] / L. Georghiou, J. Harper Cassingena, M. Keenan, I. Miles, R. Popper. – Cheltenham: Edward Elgar, 2009. – 428 p.

186. The Seventh Technology Foresight. Future Technology in Japan toward the Year 2030 http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/rep071e/idx071e.html

187. The 8-th Science and Technology Foresight Survey. Delphi Analysis. Tokyo, 2005.

188. T-Plan: the fast start to technology roadmapping. Planning your route to success. Cambridge, 2001

189. Vettiger P., Cross G., Despont M., Drechsler U., During U., Gotsmann B., Haberle W., Lantz M. A., Rothuizen H. E., Stutz R. And Binnig

G. K. The «Millipede» – Nanotechnology Entering Data Storage». IEEE Transactions on Nanotechnology 1 (1), 2002: P.39–55.

190. Wagner-Dubler, R. Where has the cumulative advantage gone? Some observations about the frequency distribution of scientific productivity, of duration of scientific participation, and of speed of publication [Text] / R. Wagner-Dubler // Scientometrics. – 1995. – Vol.32, No.2. – P. 123 – 132.

191. Xudong He, John A. N. Lee A methodology for Contructing Predicate Transition Net Specifications // Software Practice and Experience. - 1991. -V. 21, N 8. – P. 845–875.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А 1

Перспективні напрямки застосування наноматеріалів

№ з/п	Структура	Вид	Основні фізичні явища	Застосування	Сектор ринку
1	2	3	4	5	6
1	Напівпровідникові наноструктури	*Квантові ями* – системи, у яких є розмірне квантування руху носіїв заряду в одному напрямку	• Розмірне квантування електронного спектра; • квантовий ефект Холу; • при спеціальній під готовці – дуже висока рухливість електронів	• Високочастотні польові транзистори з високою рухливістю електронів; • напівпровідникові гетеролазери й світлодіоди від ближнього ІЧ-діапазону до блакитного світла; • лазери, фотоприймачі, модулятори ІЧ-діапазону	Електроніка, інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ), мікроелектроніка
		Квантові дроти – системи, у яких рух носіїв заряду квантовано у двох напрямках	• Квантування проводимості; • управління їх кристалографічною орієнтацією; • сильно корельований електронний транспорт	Перспективний матеріал для побудови напівпровідникових електронних і оптоелектронних устроїв	ІЧТ, мікроелектроніка
		Квантові точки – нанооб'єкти, у яких рух носіїв заряду квантовано в трьох напрямках	Одноелектронні й однофотонні явища	• Лазери й світлодіоди в ближньому ІЧ-діапазоні; • фотоприймачі для середнього ІЧ-діапазону;	- « -

Продовження табл. А 1

1	2	3	4	5	6
				• однофотонні приймачі; • однофотонні генератори; • одноелектронні транзистори	
		Структури з тунельно-прозорими бар'єрами – системи квантових ям і надрешітки	• Резонансне тунелювання; • формування мінізонного спектра в надрешітках – періодичних системах квантових ям, розділених бар'єрами; • нелінійні електричні й оптичні явища у надрешітках	• Резонансно-тунельні діоди (генератори й змішувачі в гіга- і терагерцовому діапазоні); • потужні генератори й змішувачі на надрешітках; • каскадні лазери середнього й далекого ІЧ-діапазонів	- « -
		Фотонні кристали – системи, у яких є зонний спектр для фотонів	• Відсутність пропускання (повне відбиття) світла у певному діапазоні частот; • резонансні фотонні стани	• Ефективні лазери з низькими граничними струмами; • системи керування світловими потоками	- « -
2	Фуленоподібні матеріали	*Фулерени* – створені молекулами C_{2n}, що мають форму сфер або еліпсів і утримують фрагменти з п'ятикратною симетрією, що невластиво для неорганічних сполук у природі.	• Розмір молекул головного представника фулеренів C_{60} становить 1 нм (можливі багатошарові «цибулинні» структури); • молекула C_{60} визнана органічною та *є зв'язуючою ланкою між органікою й неорганікою;* • володіють хімічною стійкістю, високою міцністю, твердістю,	• Можуть бути діелектриками, напівпровідниками; • можуть володіти металевою та високотемпературною надпроводимістю; • унікальний матеріал для електричних проводів, надпровідних з'єднань і устроїв молекулярної електроніки;	- « -, Енергетика, медицина

Продовження табл. А 1

1	2	3	4	5	6
		Наповнені фулерени – молекулами газів, органічними та неорганічними молекулами, атомами металів	ударною в'язкістю, теплопровідністю й електропровідністю	‣ сприяють хімічн ому складанню елементів різних схем; ‣ використовуються при створенні засобів молекулярної оптоелектроніки, резисторів нового покоління; ‣ перенесення й адресна доставка речовин	
		Вуглецеві нанотрубки – утворені зі згорнутих по різноманітним напрямам графітових площин. *Наповнені нанотрубки* – у тому числі фулеренами меншого діаметру *Графен* – нанотрубка, розгорнута у двовимірний аркуш	‣ Одношарові багатошарові, мають розгалуження й вигини; ‣ за міцністю значно перевершують залізо й близькі до алмазу, а за масою легше пластику; ‣ можуть бути металами, напівметалами й напівпровідниками. ‣ графен стабільний, дуже гнучкий, міцний і проводить електричний струм	‣ Голчасті щупи скануючих зондових мікроскопів; ‣ дисплеї з польовою емісією; ‣ високоміцні композиційні матеріали; ‣ наномеханізми зі схемами з коротких нанотрубок, отримані шляхом складання; ‣ перенесення й адресна доставка речовин (ліків, водню й ін.); ‣ графен – основа гнучких наноелектронних устроїв	- « -, Енергетика, медицина

Продовження табл. А 1

1	2	3	4	5	6
		Нанопіна – матеріал у вигляді найдрібнішої сітки (піни) з нанотрубок	Володіє магнітними властивостями, високою поглинаючою здатністю до ІЧ-випромінювання	Виявлення й знищення різних пухлин (відстеження томографом і більш інтенсивне ІЧ-нагрівання хворих тканин)	Медицина
		Нанотрава – складається з віскерів – нитковидних кристалів	Унікальний комплекс властивостей	Плетені матеріали або вата	Медицина, будівельні матеріали
		Аерогель – клас дисперсних середовищ, гель, у якому рідка фаза повністю заміщена газоподібною	Деревоподібна мережа з об'єднаних у кластери наночасток, що при низькій щільності (1 кг/м^3) володіє високою твердістю, прозорістю, жароміцністю	Пористий і міцний матеріал, у якому пори можуть займати до 90 – 99 % усього обсягу речовини	Медицина, будівельні матеріали
		Дендриди – полімерна структура, що складається з молекул, які мають деревовидну форму	Розгалужену структуру можна заповнювати різними речовинами, створюючи об'єкти із відповідними властивостями	‣ Адресна доставка ліків до уражених кліток організму; ‣ складання наноелектронних систем за допомогою скануючої зондової мікроскопії	Медицина
3	Магнітні наноструктури	*Багатошарові структури* з надтонких ферромагнітних і діамагнітних шарів	Ефект гігантського магнітоспротиву	‣ Магнітні наноматеріали для надщільного запису інформації; ‣ датчики магнітного поля	ІЧТ, мікроелектроніка

Продовження табл. А 1

1	2	3	4	5	6
		Штучні кристали, утримуючі магнітні кластери Mn_{12}, Fe_3	Тунелювання магнітного моменту у надмалих феромагнітних частках	‣ Можливість квантових переходів між магнітними рівноважними станами в кластерах; ‣ елементна база для квантового комп'ютера	ІЧТ, мікроелектроніка
4	Двовимірні багатошарові структури	Штучні одновимірні кристали з плівок нанометрової товщини	Забезпечують найбільш сильне відображення електромагнітних хвиль	‣ Для управління випромінюванням залежно від матеріалу шарів; ‣ рентгенівські дзеркала – для фокусування випромінювання синхротронів або рентгенівських трубок на дослідний об'єкт	Мікроелектроніка, прилади
5	Молекулярні наноструктури	Полімери	Діелектричні, оптичні й люмінісцентні властивості	Широко використовуються у техніці й електроніці	ІЧТ, мікроелектроніка, біоніка
		Молекулярні ансамблі	Чутливість і вибірковість до зовнішніх впливів (світло, атмосфера, вібрація)	‣ Клітинний транспорт, фотосинтез; ‣ сенсори; ‣ інтерфейс між неорганічними матеріалами	
		Одиничні молекули	Інжекція носіїв, тунельний струм в окремих молекулах	‣ Молекулярні наномашини й нанодвигуни; ‣ динамічні молекулярні перемикачі; ‣ транспортирувальники енергії; ‣ устрої розпізнавання, зберігання інформації	

Закінчення табл. А 1

1	2	3	4	5	6
6	Конструкційні наноматеріали	Нові типи матеріалів	Сполучення високої міцності й пластичності	‣ Керамічні й композиційні вироби точної форми; ‣ тверді сплави для різальних інструментів; ‣ захисні термо- і корозійностійкі покриття; ‣ полімерні композити підвищеної міцності й низкою займистості	Усі галузі

Складено за [129, с. 99 – 108].

Додаток Б

Таблиця Б 1

Приклади застосування наноматеріалів, представлених на світовому ринку, в основних індустріальних секторах

№ з/п	Сектор	Типи наноматеріалів				
		Нанорозмірні плівки і покриття нанорівня	Тверді наночастинки	Наноструктурні монолітні матеріали	Полі наночастинки	Нанокомпозити
1	2	3	4	5	6	7
1	Медицина і біотехнології	• Нанопористі мембрани (полімери) для пристроїв очищення води; • Нанопористі полімери для покриття очок і лінз; • Тонкі плівки срібла для антибактеріальних перев'язувальних матеріалів	• Оксид титану, оксид цинку для сонцезахисних кремів і засобів особистої гігієни; • Фосфат кальцію, гідроксианатит для синтетичної кісної тканини і зубних імплантатів; • Алтамери – лікарські препарати для лікування неоваскулярної вікової дегенерації шкіри; • Дендримери у маркерах при вимірюванні серцевої діяльності; • Наночастинки золота для засобів імунологічних аналізів і оптичної електронної мікроскопії; • Квантові точки (Si, Ge) для засобів аналізу відміченими молекулами; • Рідкоземельні нанолюмінофори для аналізу біологічних структур відміченими молекулами;	–	–	–

Продовження табл. Б 1

1	2	3	4	5	6	7
			‣ Дендримери (полегшують впровадження ДНК у клітини) у реактивах для транфекції у генній інженерії; ‣ Колоїдне срібло при виробництві біологічно активних добавок; ‣ Оксид заліза (суперпараметричні наночастинки) для засобів магнітної сепарації при аналізах в біології, біохімії, імунології, генетиці; ‣ Оксид заліза, контрастні речовини для одержання зображення методом магнітного резонансу; ‣ Наночастинки оксиду кремнію (антиоксиданти) при виробництві біологічно активних добавок у їжу з антиоксидантною дією; ‣ Масляні наносфери (доставляють біочастинки крізь клітинні оболонки бактерій) для засобів дезінфекції			
2	Енергетика	‣ Метали платинової групи, оксид алюмінію при виробництві каталітичних конверторів;	‣ Оксид церію – присадки до дизельного палива; ‣ Патентовані нанокаталізатори як присадки до дизельного палива; ‣ Оксид заліза, алюміній – присадки до палива і вибухових речовин;	‣ Оксид алюмінію для газорозрядних ламп високого тиску; ‣ Діоксид кремнію та інші аерогелі з найвищими	–	‣ Етилвінілацетатні (поліпропіленові) / монтмориллоритові полімери (вогнезахисні склади) для електричних кабелів;

Продовження табл. Б 1

1	2	3	4	5	6	7
		‣ Полімер для виробництва нанопористих мембран для нафто- і газопереробки; ‣ Тонкі плівки платини, паливні елементи (каталізатори енергії з кисню і водню)	‣ Квантові точки (Si, Ge) – лазерні діоди для одержання світла з будь-якою довжиною хвилі; ‣ Залізо, нікель,дисульфід кобальт-молібден та інші патентовані наночастинки для використання у нафтопереробці; ‣ Діоксид титану, квантові точки для геліофотогальваничних систем перетворення енергії сонячного випромінення в електричну; ‣ Титанати барію і стронцію, наночастинки нікелю для створення багатошарових керамічних конденсаторів	теплоізоляційними показниками для ізоляційних матеріалів; ‣ Цеоліти для виробництва каталізаторів при крекінзі (переробці) нафти; ‣ Сополімери з сульфованого тетрафлуороетилену для іонообмінних мембран (PEMFC і DEMC) для паливних елементів		‣ Полімер/нанотрубки для засобів захисту від статичної електрики; ‣ Наномагнітні матеріали (зменшують електромагнітні завади) для виробництва електричних та електронних пристроїв
3	Електроніка та інформаційно-комунікаційні технології	‣ OLED – органічні світлодіоди для пласких панельних дисплеїв;	‣ Кольорові барвники, чорнила й пігменти (фарби для струминних принтерів, що не забруднюють друкувальну голівку); ‣ Діоксид кремнію, оксид алюмінію і суміші на основі діоксиду кремнію для полірування жорсткихдисків в IT;	–	Вуглецеві нанотрубки для наконечників зондів мікроскопів, що сканують	–

Продовження табл. Б 1

1	2	3	4	5	6	7
		‣ Тонкі плівки наноалюмінію для оптичного запису інформації; ‣ Тонкі плівки зі сплавів Cr і Co для жорстких дисків і голівок при записі й зберіганні інформації («вічні носії»); ‣ Тонкі плівки оксиду заліза і алюмінію для магнітного запису інформації високої щільності; ‣ Діоксид кремнію для оболонки оптоволоконних кабелів;	‣ Оксид заліза для суспензій і феромагнітних рідин для акустичних систем і жорстких дисків в електроніці		(зондова мікроскопія)	

Продовження табл. Б 1

1	2	3	4	5	6	7
		‣ Тонкі плівки полімеру для діелектричних покриттів LOW-K; ‣ Метали і оксиди, що проводять, для покриттів в екранах променевих трубок та їх корпусів в електроніці				
4	Обробна промисловість та інші застосування	‣ Діоксид титану для керамічної плитки, що самоочищується; ‣ Оксиди алюмінію, кремнію, титану, цирконію, карбіткремнію для покриттів, що відвертають появу подряпин на поверхнях;	‣ Полімери для опоряджувальної обробки паперу, тканин і шкіри, покриття для дахівки, адгезиви для липкої стрічки і присадок у форбах, що зв'язують; ‣ Фторовані полімери для обробки тканин і надання їм брудо-, водо-, масловідштовхуючих якостей; ‣ Діоксид титану у захисних покриттях від УФ-опромінення для деревини і прозорих автомобільних покриттів; ‣ Наночастинки срібла для метало-порошкових фільтрів систем очищення повітря;	-	‣ Вуглецеві нанотрубки як наповнювачі конструкційних композитів; ‣ Вуглецеві нанотрубки для наконечників зондів скануючих мік-	‣ NYLON-6, термопластичний поліолефін, поліпропілен, ацетолові нанокомпозити з монтмориллонитовими наповнючами для виробництва автомобільних деталей;

Закінчення табл. Б 1

1	2	3	4	5	6	7
		‣ Оксиди алюмінію і діоксид титану для газотермічних деталей у суднобудуванні; ‣ нанорозмірні плівки платини, паладію, каталітичні конвертори	‣ Діоксид титану (гідроксильні радикали) для систем очищення повітря; ‣ Оксид алюмінію для систем фільтрації води; ‣ Патентовані наночастинки – нейтралізатори небезпечних хімікатів, у тому числі засобів хімічної зброї		‣ роскопів (зондова мікроскопія)	‣ Полімери на основі NYLON-6 і монтморилоніту для упаковки продуктів харчування; ‣ Полімер/глина для виробництва спортивного спорядження

Складено за [125, с. 351–354].

Таблиця Б 2

Прогноз виходу на стадію комерційного застосування наноматеріалів, що знаходяться у стадії розробки, по секторах наноіндустрії.

№ з/п	Тип наноматеріалу	Сектор світового ринку нанопродуктів	Найменування наноматеріалу	Роки						
				2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	Тонкі плівки і покриття нанорівня	Медицина та біотехнології	Покриття, що захищають від впливу магнітних полів при проведенні МРТ (НАР-покриття) – наноматеріали з заліза і кераміки для покриття медичного обладнання (стінки для сосудів та інших органів)	➢	•	✓				
			Наноструктурні плівки фосфату кальцію і гідроксиапатит, біосумісні покриття для медичних приладів та імплантатів	•	✓					
		Енергетика	Органічні світлодіоди – OLED нового покоління	•		✓				
			Вуглецеві нанотрубки для прозорих електродів, ЖК-дисплеїв, сонячних елементів	•		✓				
2.	Тверді наночастинки	Медицина та біотехнології	Аптамери для молекулярних біопрепаратів при формуванні зображення у приладах позитронно-емісійної томографії	➢		•	✓			
			Ліпіди, полімери, дендрити (полімерні частинки дендритів) для засобів точкової доставки лікарських засобів до місця дії	+	➢		•	✓		
		Енергетика	Титанат літію для літій-іонних батарей, що перезаряджаються	•	✓					

Продовження табл. Б. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			Квантові точки для лазерних діодів при випроміненні світла будь-якої довжини		➢		•		✓	
			Квантові точки, рідкоземельні нанолюмінофори (білі світлодіоди) для світлодіодів як альтернативи ламп накалювання	+	➢	•	✓			
		Електроніка і ІКТ	Рідкоземельні нанолюмінофори (FED / SED) для пласкопанельних дисплеїв	➢			•	✓		
			Наночастинки металів, для компактних оптичних схем плазмоніки		➢		•		✓	
		Обробна промисловість та інші застосування	Лантан, що попереджає зростання водорості	•	✓					
3	Полі-наночастинки	Медицина та біотехнології	Вуглецеві нанотрубки, фулерени, нанокапсули для пристроїв точкової доставки лікарських засобів	+	➢		•	✓		
		Енергетика	«Нанороги» для створення паливних елементів (батарей) портативної електроніки	➢		•	✓			
			Вуглецеві нанотрубки, фулерени для мобільних сховищ водню	➢	•	✓				
			Вуглецеві нанотрубки, наноконуси для пристроїв на основі польової емісії (освітлювальна апаратура)	•		✓				

Продовження табл. Б. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		Електроніка і ІКТ	Вуглецеві нанотрубки, наноконуси для пристроїв на основі польової емісії (рентгенівські апарати, плоскопанельні дисплеї)	•	✓					
			Вуглецеві нанотрубки для пристроїв універсальної комп'ютерної пам'яті	➢	•	✓				
			Вуглецеві нанотрубки для напівпровідників і чипів, що збільшують тактову частоту	+	➢		•		✓	
			Вуглецеві нанотрубки для напівпровідників	+	➢			•	✓	
		Обробна промисловість та інші застосування	Вуглецеві нанотрубки для високочутливих датчиків присутності газів і хімікатів	+	➢		•		✓	
4.	Монолітні матеріали з наноструктурою	Медицина та біотехнології	Наноструктурований титан для створення імплантатів з покращеною біосумісністю	•		✓				
		Обробна промисловість та інші застосування	Вуглецеві аерогелі для створення повітряних конденсаторів або для видалення домішок і шкідливих бактерій з води	➢		•	✓			
5	Нанокомпозити	Медицина та біотехнології	Колагенове волокно/фосфат калію (гідроксиапатит) для замінників кісної та зв'язувальної тканини	+	➢			•	✓	
	Енергетика	Селенід кадмію, квантові точки InAs / GaAs, фулерени для сонячних елементів	➢	•		✓				

Закінчення табл. Б 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			Полімер / неорганічні наночастинки (мембрани PEMFC і DEMC) для паливних елементів	•	✓					
		Електроніка і ІКТ	Матриця органічного полімеру / діоксид кремнію або титану для підсумовуюче-розгалуджуючих фільтрів	➢	•	✓				
			Квантові точки (сульфід свинцю, селеніт свинцю) для оптичних перемикачів	+	➢			•	✓	
			Діоксид кремнію, що легований ербіїм / кремній для оптоволоконних підсилювачів	➢	•	✓				
			Ніобат літію, танталат літію для оптичних модуляторів при передачі сигналів по опто-волоконним кабелям	+	➢		•		✓	
		Обробна промисловість та інші застосування	Кобальт / карбід вольфраму, для ріжучих інструментів і виробництва підшипників	+	✓		•	✓		
			Хлопок / монтморилоніт для вогнезахисного спецодягу	•	✓					

+ – фундаментальні дослідження і розробки; ➢ – прикладні дослідження і розробка технології;

– – дослідні зразки та їх застосування; ✓ – початок комерційного виробництва і вихід продукції на ринок

Складено за [125, с. 355–357]

Додаток В

Таблиця В 1

Співставлення основних пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій в США, Японії, Німеччині, а також в ЄС, Росії та в Україні

№ з/п	Глобальна проблема людства	США, «Національна нанотехнологічна ініціатива (NNI)»	Японія, «Стратегія розвитку нанотехнологій»	Німеччина, «Наноініціа-тива 2010»	ЄС, 6-та і 7-ма Рамкові програми	Росія, ФЦП «Розвиток інфраструктури наноіндустрії у РФ на 2008 – 2010 рр.»	Україна	
							ЦКПФД «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології»	ДЦНТП «Нанотехнології та наноматеріали» 2010 – 2014 рр.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Депопуляція і старіння населення	1. Нанобіосистеми і медицина; 2. Проблеми охорони здоров'я	1. Нанобіологія	1.Нанобіологія	1. Інтегрування нанотехнологій для підвищення якості й безпеки життя; 2. Європейська платформа в наномедиціні	1. Нанобіотехнології	І. Біонаносистеми: 1. Біонаноматеріали: синтез та властивості	-
2	Нестача продовольства	–	- « -	- « -	1. Біотехнології	- « -	- « -	-
3	Екологічні проблем	1. Проблеми екології, розробка інструментарію для дослі-	1. Наноматеріали для захисту навколишнього середовища	–	1. Створення систем контролю за небезпекою і відходами виробництва;	-	-	1. Наноматеріали та нанотехнології для захисту навколишнього

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		джень в сфері екології та токсичності			2. Виявлення небезпечного впливу нанотехнологій на людину та довкілля			природного середовища
4	Енергетика та енергозбереження	–	1. Наноматеріали для енергетики	–	–	1. Функціональні наноматеріали для енергетики	–	1. Нанотехнології для енергетики
5	Відставання від провідних країн світу в переході до нового технологічного укладу, уповільнення науково-технічного прогресу	1. Фундаментальні дослідження наномасштабних явищ і процесів; 2. Проектування ієрархічно структурованих матеріалів і ефективне нановиробництво;	1. Моделювання наноматеріалів; 2. Нанообробка, формування і технології виготовлення; 3. Технології синтезу речовин і матеріалів; 4. Нові матеріали з контрольованою наноструктурою;	1. Наноелектроніка; 2. Наноматеріали; 3. Оптика; 4. Мікросистеми; 5. Комунікації 6. Інше	1. Міждисциплінарні фундаментальні дослідження нових явищ, що обумовлені розміром наноструктур; 2. Фундаментальні й прикладні дослідження багатофункціональних матеріалів дизайн і технології їх виготовлення;	1. Наноелектроніка; 2. Композитні наноматеріали; 3. Наноінженерія; 4. Функціональні наноматеріали для космічної техніки; 5. Конструкційні наноматеріали;	*II. Фізика та діагностика нанорозмірних систем:* 1. Нанофізика і наноелектроніка 2. Діагностика наносистем; 3. Електронна, атомна будова і властивості наноструктурних матеріалів; 4.Фізика напівпровідникових наноструктур.	1. Отримання нових знань щодо особливостей фізичних, хімічних, біологічних і більш складних процесів синтезу та атомного складання наносистем; 2. Наноелектроніка; 3. Наноінженерія

Закінчення табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		3. Дослідження наноструктур і складних наносистем; 4. Силіконова наноелектроніка; 5. Наноінструменти, метрологія й стандарти 6. Освіта і соціальні проблеми розвитку нанотехнологій 7. Проблеми безпеки	5. Нанопристрої і нанодатчики; 6. Наноелектроменічні системи (NEMS) та їхні технології; 7. Технології вимірів у нанорозмірному діапазоні й нанорозмірному аналізі; 8. Нанонауки для безпечного й стабільного суспільства		4. Створення інтелектуальних систем виробництва матеріалів і пристроїв, гібридних матеріалів; 5. Створення європейської платформи в наноелектроніці; 6. Системи безпеки	6. Нанотехнології для систем безпеки	*III. Хімія наноматеріалів:* 1.Формування наноструктур; 2. Колоїдні нанорозмірні системи; 3. Атомно-молекулярна архітектура наноструктур 4. Фізико-хімія поверхневих явищ, супрамолекулярна хімія. *IV. Технології наноматеріалів:* 1. Технологія багатофункціональних матеріалів; 2. Фізика і технологія наноматеріалів в екстремумовах	4. Функціональні, конструкційні наноматеріали; 5. Колоїдні нанотехнології; 6. Нанотехнології для каталізу та хімічної промисловості; 7. Нанотехнології спеціального призначення

Складено за [248, с. 332–333].

Додаток Г

Таблиця Г 1

Найбільш значущі результати виконання програми «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» за 2006–2009 рр.

Рік	Напрямок програми	Найбільш значущий результат	Практична цінність	Галузь	Глобальна проблема
1	2	3	4	5	6
2006	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Інститут фізики НАНУ: вперше дос-ліджено явище аномального (більш ніж на порядок) зростання фотопровідності AlGaN/GaN гетероструктурах, яке є важливим при створенні приладів ультрафіолетової оптоелектроніки. Виявлено помітну світлочутливість польової емісії з багатошарових структур квантових точок Ge в області 0,4 – 10 мкм при 300 К.	Створення приладів нічного бачення, які працюватимуть без охолодження	Оптоелектроніка	Технологічне відставання (шостий уклад)
		Інститут теоретичної фізики ім.М.Боголюбова НАНУ: на основі методу нерівноважної матриці густини було розроблено підхід та отримано аналітичні вирази для опису тунельної та стрибкової компонент струму через молекулу, що встановлена між електродами	Нові методи вимірювання струму та передачі енергії	Енергетика	Енергетика та ресурси
		Інститут електрозварювання ім. Є. Патона НАНУ: методом електронно-променевого осадження міді отримано покриття, характерний розмір структурних елементів яких змінюється від мікро- до нанорозмірного масштабу. Вивчено залежності демпфуючої здатності конденсатів міді залежно від розміру зерен. Експериментально обгрунтовано можливість створення високодемпфуючих покриттів на основі наноструктурованих матеріалів.	Високодемпфуючих покриття; зварювання металів, які звичайно неможливо зварити	Нові матеріали	Технологічне відставання (шостий уклад)

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6
2006		Інститут металофізики ім. Г. Курдюмова: з урахуванням динамічних ефектів багатократності розсіяння рентгенівських променів створено теоретичні та експериментальні основи нового покоління кількісної діагностики дефектів різних типів (у т. ч.) та структури складних гетерогенних наноматеріалів.	Діагностика нанорозмірних дефектів та структури гетерогенних наноматеріалів	Нові матеріали	Технологічне відставання (шостий уклад)
		Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Францевича НАНУ: вперше отримано криву деформації для наноструктурних квазікристалів й показано збільшення міцності та пластичності в них на відміну від крупнозернистих квазікристалів.	Діагностика характеритик квазікристалів	Нові матеріали	Технологічне відставання (шостий уклад)
	Хімія наноматеріалів та наноструктур	Інститут фізичної хімії ім. Л. Писаржевського НАНУ: знайдено шляхи хімічного і електрохімічного формування нановолокон електропровідних полімерів (поліаніліну, поліпіролу) та наноструктурованих електродів для електрохімічного синтезу цінних органічних сполук. На основі одержаних нанокомпозитів електропровідних спряжених полімерів та оксиду ванадію створено катодні матеріали для літієвих акумуляторів, які здатні до багаторазового заряду з розрядною ємністю 200 мА год/г	Нановолокна електропровідних полімерів, наноструктуровані електроди. Катодні матеріали для літієвих акумуляторів, що відповідають світовому рівню	Нові матеріали. Енергетика	Енергетика та ресурси. Технологічне відставання (шостий уклад)
		Фізико-хімічний інститут ім. О. Богатського НАНУ: розроблено нові способи синтезу кальцієвих гідроксоапатиту і фторапатиту як основи біонананоматеріалів у хлоридних та карбонатних розтопах при температурах, відповідно, 700 та 5000С. Показана висока сорбційна здатність синтезованих матеріалів до іонів Pb2+, Cu2+ у водних розчинах.	Біонананома-теріали з ви-сокою сорб-ційною здат-ністю	Медицина	Депопуляція і старіння населення

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6
	Технології наноматеріалів	Інститут фізики напівпровідників ім. В. Лашкарьова НАНУ: виготовлено робочі варіанти багатоканальних сенсорних масивів на кремнієвих ємнісних електроліт-діелектрик-напівпровідник структурах та інтегральних іоноселективних польових транзисторах з іоночутливим шаром нітриду кремнію. Розроблено технологію отримання періодичних 2D структур плазмонних наночастинок на поверхні напівпровідника і запропоновано метод створення впорядкованих ансамблів наночастинок металу на поверхні напівпровідника. Створено технологію нанесення поруватих SiOx різного складу за допомогою осадження в вакуумі на підкладки	Тонкоплівні світловипромінюючі структури на основі нановключень; метод створення впорядкованих ансамблів наночастинок металу на поверхні напівпровідника	Оптоелектроніка	Технологічне відставання (шостий уклад)
	Біонаносистеми	Інститут проблем матеріалознавства ім. І. Францевича НАНУ: досліджено біологічні властивості синтезованих наноструктурованих біоактивних керамічних композитів на основі гідроксоапатиту й інших біоактивних фаз	Можливість досягнення повної резорбції і повного перетворення біоактивного керамічного композита на кістку	Медицина	Депопуляція і старіння населення
		Інститут біоколоїдної хімії ім. Ф. Овчаренка НАНУ: вперше створено системи нанореакторів медичного призначення на основі гідрогелевих полімерів та розроблено колоїдно-хімчні методи формування в них металів (Au, Ag, Pl, Pa, Ni) та наночасток спеціальної біокераміки. Розроблені та проведені клінічні іспити нанобіоматеріалів для лікування опіків, у яких система нанобіореакторів є основої для іммобілізації стовбурових клітин різного походження	Системи нанореакторів медичного призначення; нанобіоматеріали для лікування опіків	Медицина	Депопуляція і старіння населення

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6
2007	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Введено в дію перший в Україні ши-рокодіапазонний лазерний фемптосекундний комплекс з мінімальною тривалістю лазерних імпульсів ≈70фс.	Широкодіапазонний лазерний фемптосекундний комплекс	Оптоелектроніка	Технологічне відставання (6 уклад)
		Виявлена гігантська (до 400%) пружна релаксація і зміна величини електропровідності неорієнтованих багатошарових вуглецевих нанотрубок, надчутні сенсорні властивості у фторопласті з орієнтованими вуглецевими нано-трубками та ефект пам'яті від'ємного магнітоопороу наноматеріалів p-La0,80Mn1,0403,5 з багаторівневою структурою	Фторопласти з нанотрубками для запам'ятовування інформації; матеріали для приладів магнітного запису і збереження інформації та сенсорів магнітного поля	Електроніка	-«-
	Хімія наноматеріалів та наноструктур	Запропоновано методику видалення радіонукліда Sr-90 з водних розчинів	Очищення водних розчинів	Екологія	Збереження навколишнього середовища
		Отримано гібридні нанокомпозити на основі полі- і мезопористого діоксиду кремнію з розміром нанопор 3–9 нм; високоефективний кобальт-паладієвий каталізатор для процесу селективного відновлення O2 воднем в присутності NO; нові низькощільні мікропористі вуглецеві аерогелі з молекулярно-ситовими властивостями та з електропровідністю, вищою у 2–5 разів, ніж у фенолформальдегідного вугілля; нанотрубки титанів, сульфіду кадмію з високою фотокаталітичною активністю	Наноматеріа-ли для елек-троніки	Електроніка	Техно-логічне відста-вання (6 уклад)

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6
		Розроблено новий відтворювальний спосіб одержання молекулярних сит на основі оксидів цирконію та кремнію	Молекулярні сита	Електроніка	-«-
	Технології наноматеріалів	Розроблено новий металоорганічний нанокомпозит на основі наночастинок Au для виготовлення об'ємних та рельєфних періодичних структур для використання як нелінійні дифракційні елементи та резонатори у хвилеводних лазерах	Нанокомпозити для дифракційних елементів та резонаторів у хвилеводних лазерах	Оптоелектроніка	Технологічне відставання (6 уклад)
		В гетероструктурах широкозонних напівпровідників AlGaN/GaN досягнуто дрейфову швидкість електронів 108 см/с, яка у 4–4 рази перевищує досягнуті у світі значення. Створено нові наноструктурні гетеросистеми з фулеренами, отримані плівки з фулеренами C60 на підкладках Si, GaAs, NaCl, скла, слюди, $CaCO_3$	Можливість збільшити робочі частоти НВЧ приладів. Плівки з фулеренами C60	Електроніка	-«-
		Створено однофазні композиційні напівпровідникові феромагнетики *p*-типу провідності.	Напівпровідникові феромагнетики	Електроніка	-«-
	Біонаносистеми	Здійснено моделювання процесів взаємодії випромінювання різних спектра-льних діапазонів з біонаносередовищами ока	Розроблено макет офтальмоскопа нового покоління	Медицина	Депопу-ляція і старіння населен-ня
		Розроблено методи синтезу матеріалів на основі гідроксоапатиту та природних полісахаридів як замінників кісткової тканини	Замінники кісток в ортопедії та стоматології	Медицина	-«-
		Розроблено чутливу методику реєстрації конфірмаційних змін у ДНК та polyA при взаємодії з вуглецевими одностінними нанотрубками	Реєстрація змін у ДНК	Медицина	-«-

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6
		Відпрацьовано методику швидкісного та надійного біохімічного контролю дії магнітних порошків на основі заліза на організм людини	Біохімічний контроль дії магнітних порошків	Медицина	-«-
2008	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Виявлено часову осциляцію резонансної частоти поверхневих плазмонів в композитах на основі наночасток благородних металів, збуджених фемпто-секундними лазерними імпульсами	Нові властивості матеріалів (нанокомпозитів)	Електроніка	Технологічне відставання (6 уклад)
		Отримано підсилення спонтанного випромінювання в полімерній матриці з просторово впорядкованими голографічним способом наночастинками CdSe/ZnS	Нові властивості матеріалів	Оптоелектроніка	-«-
		Вирощено методом молекулярно-променевої епітаксії буферні Si та SiGe шари, багатошарові InGaAs/GaAs структури з квантовими елементами	Нові наноматеріали	Електроніка	-«-
		Вивчено гетероструктури феромагнітний напівметал Co_2CrAl – надпро-відник Pb	Нові наноматеріали	Енергетика	Енергетика та енергозбереження
		Досліджено фрактальний характер агрегації в нанокомпозитах різної природи	Нові властивості матеріалів (нанокомпозитів)	Електроніка	Технологічне відставання (6 уклад)
	Хімія наноматеріалів та наноструктур	Відпрацьовано технології матричного синтезу мезопористого оксиду вольфраму, темплатного формування наноструктурованих титанатів	Одержання нових матеріалів	Електроніка	-«-

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6
		Розроблено нові органонеорганічні гібридні нанокомпозити на основі електропровідних спряжених полімерів та наноструктурованих неорганічних матриць	Матеріали для літієвих аккумуляторів, фотовольтаїчних елементів,суперконденсаторів, світловипромінюючих діодів	Енергетика Оптоелектроніка	Енергетика та енергозбереження
		Продемонстровано можливість використання реакції фотокаталітичного відновлення сірки етанолом, використано нанокристалічні плівки TiO_2 для формування нанокомпозитів CdS/ TiO_2, PbS/ TiO_2 та CuxS/ TiO_2	Нові нано-композити	Електроніка	Технологічне відставання (6 уклад)
		Одержано пористі вуглецьвмісні матеріали методом карбонізації полівініліденфториду в кремнеземних матрицях	Можливість створення наномембран	Електроніка	-«-
		Розроблено методики синтезу порожнистих наносфер TiO2	Можливість перенесення водню та інших речовин	Енергетика	Енергетика та енергозбереження
		Отримано нанокомпозит типу $Fe_3B/Nd_2Fe_{14}B$ з високим рівнем магнітних властивостей	Нові композиційні матеріали	Електроніка	Технологічне відставання (6 уклад)
	Технології наноматеріалів	Створено технологію зварювання сплавів та інтерметалідних матеріалів через наношаруваті присадки	Одержання нероз'ємних з'єднань	Електроніка	-«-
		Розроблено метод отримання нанокомпозитних провідникових матеріалів мідь-ніобій стрічкового типу з високими міцністю та електропровідністю	Нові композиційні мате-ріали	Електроніка	-«-

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6
		Отримано нанодисперсні плівки гідроксоапатиту кальцію та дано оцінку їх остеопровідності	Нові наноматеріали	Електроніка	-«-
	Біонаносистеми	Створено матеріали медико-біологічного призначення, які випробувались в закладах НАН України та МОЗ Ук-раїни	Нові наноматеріали	Медицина	Депопуляція і старіння населення
		Створено нові композиційні матеріали для ендопротезування кісткової тканини в ортопедії та стоматології на основі гідрогелевих матриць з інкорпорованими наночастками гідроксиапатиту, колоїдного срібла та магнетиту	Нові композиційні матеріали	Медицина	-«-
2009	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Одержано періодичні структури полімернаночастинки з субмікронним періодом, які можуть використовуватись як високоефективні дифракційні гратки, керовані світлом нелінійні дифракційні елементи та фотонні кристали, резонатори лазерів	Нові нанополімери, фотонні кристали, резонатори лазерів	Електроніка фотоніка, лазерна техніка	Технологічне відставання (6 уклад)
		Створено технологічні основи виготовлення детекторів терагерцового діапазону, теплових випромінювачів інфрачервоного діапазону на основі одношарових германій-кремнійових наноструктур	Терагерцові детектори, теплові випромінювачі	Електроніка теплотехніка	-«-
		Передбачено новий ефект спін-електричної природи у кільцевих наноструктурах, які можуть бути використані при створенні елементів квантового комп'ютеру	Елементи квантового комп'ютеру	Електроніка	-«-

Продовження табл. Г.1

1	2	3	4	5	6
2009	Хімія наноматеріалів та наноструктур	Розроблено способи одержання термостабільних титанатних нанотрубок з розвиненою поверхнею і великим сорбційним об'ємом пор	Титанатні нанотрубки	Електроніка	-«-
		Створено високопродуктивний метод одержання багатошарових вуглецевих нанотрубок із заданими структурними параметрами	Багатошарові вуглецеві нанотрубок із заданою структурою	Електроніка	-«-
	Технології наноматеріалів	Розроблено технологію виготовлення композиту фторопласт-багатостінні вуглецеві нанотрубки, на основі яких створено антифрикційні покриття та матеріали	Використання в якості підшипників ковзання, для покриттів рухомих з'єднань та поверхонь тертя штучних суглобів	Приладобудування, машинобудування, медицина	Технологічне відставання (6 уклад); депопуляція і старіння населення
		Запропоновано новий тип нелінійно-оптичних матеріалів – іонні нанокомпозитні мезоморфні стекла, доповнені наночастинками барвників або надпровідників	Можливість здійснення голографічного запису тонких динамічних (фазових і амплітудних) граток	Оптоелектроніка	Технологічне відставання (6 уклад)
	Біонаносистеми	Отримано нові гібридні органо-неорганічні кремнійстійкі нанокомпозити з керованою на нанорівні структурою, модифікування яких біологічно активними сполуками надає цим системам біологічної активності відносно патогенних мікроорганізмів	Нанокомпозити з біологічною активністю до патогенних мікроорганізмів	Медицина	Депопуляція і старіння населення

Закінчення табл. Г.1

1	2	3	4	5	6
		Розроблено новий метод синтезу біметалевих наночастинок золота та срібла в пористих прозорих зольгель плівках кремнезему	Біосенсори	Електроніка медицина	-«-
		Синтезовано нові наноструктуровані матеріали на основі мікроорганізмів і наночастинок срібла, стабілізованих в біотемплатах	Нові нанобіоматеріали	Електроніка медицина	-«-
		Розроблено технології синтезу наноструктурованих біоактивних керамічних матеріалів і композитів, які забезпечують відновлення кісткової тканини	Наноматеріали для хірургічного лікування травм кісток	Медицина	-«-

Складено за [82].

Додаток Д

Таблиця Д.1

Найбільш значущі результати виконання цільової комплексної програми «Фундаментальні проблеми наноструктурних систем, наноматеріалів, нанотехнологій» за 2010 – 2013 рр.

Рік	Напрямок програми	Найбільш значущий результат	Практична цінність	Галузь	Глобальна проблема
1	2	3	4	5	6
2010	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Встановлено можливість здійснення за допомогою позитронів неруйнівного контролю якості великих партій вуглецевих нанотрубок та діагностики їх дефектів як в розташуванні шарів, так і в графенових шарах	Неруйнівний контроль та діагностика дефектів нанотрубок	Електроніка ІКТ	Технологічне відставання (6 уклад)
		За результатами експериментальних досліджень та комп'ютерного моделювання методом молекулярної динаміки визначено закономірності впливу розмірів на міцність нанокристалу вуглецю, нанозразків із цирконієвого об'ємного скла та металевих нанокристалів	Вивчення властивостей нанокристалів	Електроніка ІКТ	-«-
	Хімія наноматеріалів та наноструктур	Відпрацьовано методики одержання колоїдів графеноксиду у водних розчинах та їх стабілізації анонімними поверхневоактивними речовинами	Нові матеріали – графеноксиди	Електроніка ІКТ	-«-
	Технології наноматеріалівантон	Показано можливість отримання наноструктури в промислових сплавах титану шляхом деформації	Нові властивості сплавів титану для технологій підвищення стійкості до циклічних навантажень	Нанометаніка	-«-
	Біонаносистеми	Проведено дослідження дослідження впливу частинок феромагнетика на структурно-функціональні і токсикологічні характеристики пухлинних	Наночастинки металів, перспективні у якості засо-	Медицина	Депопуляція і старіння населення

Продовження табл. Д.1

1	2	3	4	5	6
		клітин. Показано, що прояв генотоксичної дії наночастинок металів залежить від їх природи та розміру. Експериментально підтверджено, що наночастинки золота розміром 30 нм є найбільш біосумісними та біобезпечними у якості засобів цільової доставки препаратів			
2011	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Дані відсутні			
	Хімія наноматеріалів та наноструктур	Дані відсутні			
	Технології наноматеріалів	Розроблено спосіб одержання нанокомпозиту алмаз-карбід вольфраму з добавками наночастинок шляхом спікання в умовах високих тиску та температури	Нанокомпозит з високими твердістю і тріщиностійкістю	Нові матеріали	Технологічне відставання (6 уклад
	Біонаносистеми	При дослідженні пухлинних клітин з асцитною карциномою Ерліха встановлено, що присутність наночастинок – вуглецевих нанотрубок викликала сповільнення процесів пухлинного росту	Основа для створення протипухлинних ліків, що сприяють посиленню апоптозу	Медицина, фармацевтика	Депопуляція і старіння населення
		Одержано функціональні флуоресцентні композити, які в ядрі наночастинок містять флуоресцеїн, а на поверхні – реакційну функціональну оболонку. Показано, що використання флуоресцеїнмічених носіїв для	Більш ефективна доставка ліків до клітин-мішеней за рахунок зниження	-«-	-«-

Продовження табл.Д.1

1	2	3	4	5	6
		доставки ліків здатне вирішити кілька принципово важливих проблем для фармакології і терапії	їх діючої дози Візуалізація проникнення нанокомпозитів у клітину за допомогою флуоресцентної мітки		
2012	Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Вироблено наукові рекомендації для покращення технологій отримання: ‣ наногранульованих магнітних плівок ‣ високоефективних швидкодіючих нелінійних матеріалів на основі металічних наноструктур; ‣ вуглецевих нанотрубок; ‣ оксидних наноплівок	Використання у: ‣ спінтроніці; ‣ пристроях керування світловими потоками; ‣ газових сенсорах; ‣ промисловому каталізі та захисті металів від корозії	Електроніка ІКТ, машинобудування	Технологічне відставання (6 уклад)
		Створено оригінальний кремнієвий польовий транзистор для виявлення терагерцового/субміліметрового випромінювання. На його основі спроектовані посилювач та приймач	Застосовування в пристро-ях нічного бачення, дефектоскопії, в акустично-оптичних терагерцових перетворювачах	Електроніка ІКТ, машинобудування	-«-
	Хімія наноматеріалів та наноструктур	Досліджено структуру і механічні властивості нанорозмірних та ультрадисперсних шарів тертя на поверхні вуглецевих сталей, що дало	Нанопокрит-тя для поверхонь тертя	Наномеханіка, нові матеріали	-«-

Продовження табл.Д.1

1	2	3	4	5	6
		змогу з'ясувати вплив мастильно-охолоджуючих рідин на формування таких шарів. Винайдено ефективний механо-хімічний метод одержання оксиду графену з різним ступенем окиснення без застосування агресивних середовищ			
		Розроблено термохімічну технологію гідрофобізації волокнистих матеріалів що зменшує їх водопоглинання, підвищує мікробіологічну стійкість і вогнетривкість, забезпечує стабільне підвищення теплоізоляційних характеристик на 50% за умов високої вологості та перепадів температури	Використан-ня в будівництві, житлово-комунальному господарстві, на теплотрасах і трубопроводах, у холодильному обладнанні	Нові матеріали	-«-
2012	Технології наноматеріалів	Розроблено технологію зварювання жароміцних сплавів та інтерметалідних матеріалів на нікелевій і титановій основах і використанням наношаруватих покриттів та фольги	Дає можливість істотно підвищувати якість та надійність деталей газотурбінних агрегатів нового покоління	Авіакосмічний комплекс	-«-
		Розроблено спосіб одержання спечених об'ємних композитів Cu-W з невеликим вмістом W, які мають підвищену електропровідність, твердість, міцність та пластичність	Можливість широкого використання як багатофункціональних матеріалів	Нові матеріали	-«-

Продовження табл.Д.1

1	2	3	4	5	6
	Біонано-системи	Розроблено технологію синтезу сферичних наночастинок заліза розміром до 40 нм, модифікованих аскорбіновою кислотою, перспективних у створенні високоефективного протианемійного препарату нового покоління	Профілактика і лікування залізодефіцитної анемії та анемії хронічних захворювань	Медицина, фармацевтика	Депопуляція і старіння населення
		Синтезовано каліксарени, які слугують перспективними молекулярними платформами для створення ліків нового покоління	Антитромботичні препарати і засоби лікування порушень скорочувальної функції гладеньких м'язів	Медицина, фармацевтика	-«-
		Синтезовано та досліджено низку нанобіоматеріалів, які застосовуються у медицині, сільському господарстві та харчовій промисловості	Новий клас антитромботичних і протимікробних препаратів; біокерамічних імплантантів; носіїв фармпрепаратів цільового призначення; нових діагностичних і сенсорних тест-систем	Медицина, фармацевтика, біотехнології	-«-
2013		Фізика та діагностика нанорозмірних систем	Вперше виготовлено ефективний органічний фототранзис	Створено базис для реалізації високоефективних	Електроніка ІКТ

Продовження табл.Д.1

1	2	3	4	5	6
			тор на основі напівпровідникових фулеренів (C_{60}), що характеризується високою чутливістю	органічних фотодетекторів і елементів оптичної пам'яті	
		Виявлено ефект оптичного обмеження інтенсивності при взаємодії наносекундних лазерних імпульсів з тонкими наноструктурованими плівками карбіду кремнію різних політипів	Створення оптичних перемикачів і обмежувачів, що працюють в умовах високих і низьких температур, хімічно агресивної атмосфери та значних радіаційних навантажень	Електроніка ІКТ	-«-
		Вивчено лазерно-індуковані процеси перемагнічення і зміни провідності феромагнітних тунельних наноструктур під впливом над коротких імпульсів поляризованого лазерного випромінювання	Вказані структури можуть бути елементами лазерно-керованого спін-поляризованого струму	Електроніка ІКТ	-«-
	Хімія наноматеріалів та наноструктур	Розроблено технології отримання нанорозмірних напівпровідникових структур на основі твердих розчинів PbTe–SnTe із заданими термоелектричними властивостями (оптимальною термоелектричною добротністю)	Наноструктури із заданими товщиною, розміром і густиною	Електроніка ІКТ	-«-

Продовження табл.Д.1

1	2	3	4	5	6
	Технології наноматеріалів	Методом скручування крупнозернистого титану під тиском при температурах 300 та 77 К отримано його нові наноструктурні стани, які мають високу міцність та пластичність	Застосування такого титану для створення нових конструкційних матеріалів	Нові матеріали	-«-
2013		Досліджено вплив нанорозмірних оксидних частинок на механічні властивості міді у середовищі водню під високим тиском	Дісперсно-зміцнена мідь, що нечутлива до водневого окрихчення і має високу стійкість до радіаційного розпухання	Енергетика	-«-
		Синтезовано нанокомпозит алмаз – карбід вольфраму і проведено оцінку його експлуатаційних характеристик при лезовій обробці матеріалів	Робочий елемент з такого нанокомпозиту дозволяє точити з високою продуктивністю і високою якістю поверхні	Нові матеріали	-«-
	Біонаносистеми	Синтезовано та досліджено нові Gd–B-вмісні нанокомпозити на основі нанорозмірного магнетиту, розроблено методику їх модифікування імуноглобуліном. Запропоновано методи формування функціонального шару амінобісфосфонату на поверхні модифікованого магнетиту для подальшої функціоналізації комплексами з хелатованим Gd^{3+}	Використання вказаних нанокомпозитів у нейтронозахватній терапії онкозахворювань та комплексної МРТ діагностики в медицині	Медицина	Депопуляція і старіння населення

Закінчення табл.Д.1

1	2	3	4	5	6
		В дослідженнях in vivo на моделі залізодефіцитної дієти вивчено ефективність синтезованих біобезпечних наночастинок заліза 40 нм як потенційної фармацевтиної субстанції з більш вираженими протианемійними властивостями. Розроблено метод синтезу таргетних, функціоналізованих фолатами та модифікованих полісахаридами наночастинок платини та досліджено їх вплив на пухлинні клітини різного онкогенезу	Фармацевтична субстанція з більш вираженими протианемійними властивостями. Наночастинки з селективною токсичною дією на ракові клітини	Медицина	-«-
		Досліджено вплив наноматеріалів різної природи (фулерени, нанотрубки, наночастинки золота, магнітна рідина) на фенотипові та цитогенетичні особливості нормальних і пухлинних клітин	Наноматеріали у низьких концентраціях стимулюють проліферативні ефекти у клітинах мезенхімального походження	-«-	-«-
		Запропоновано нові конструкції магнітних систем для створення магнітних сил, що діють на наночастинки в заданому об'ємі біологічного об'єкта. Показано можливість переважного концентрування наночастинок в різних частинах об'єкта за допомогою змінних полюсних наконечників	Створено дослідний зразок магнітної системи зі змінними полюсними наконечниками для можливої адресної доставки ліків	-«-	-«-

Складено за [70 – 73].

Таблиця Д.2

Найбільш значущі результати виконання Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. за 2012 – 2013 рр.

Рік	Напрямок програми	Найбільш значущий результат	Практична цінність	Галузь	Глобальна проблема
1	2	3	4	5	6
2012	Наноматеріали	Розроблено технології виготовлення нанопорошків на базі ZrO_2 та підго-товлено бізнес-план будівництва під-приємства з виробництва таких нано-порошків і керамічних виробів з них. Матеріали на основі нанопорошків на базі оксиду цирконію мають термін експлуатації в 30–50 разів більший, порівняно з металевими аналогами	Матеріали будуть використовуватися в піскоструминних апаратах, протезах суглобів, паливних елементах	Будівництво Медицина; Енергетика	Технологічне відставання (6 уклад) Медицина
		Отримано нові нанорозмірні матеріа-ли на основі кремнію та літійзалізо-фосфату	Використання в літій-іонних акумуляторах з максимально високими електрохімічними параметрами	Енергетика	Нова енергетика
		Виготовлено нанокерамічні матеріали на основі нітриду кремнію з низьким коефіцієнтом тертя, що збільшує ресурс роботи механізмів у 2–3 рази. Такі матеріали можна експлуатувати за високих температур та в агресивних середовищах	Використання в авіадвигунах і турбінах	Авіакосмічний комплекс	Технологічне відставання (6 уклад)
	Нанотехнології	Розроблено дослідну технологію отримання наноструктурованих титанових сплавів	Виробництво лопаток турбін авіадвигунів	Авіакосмічний комплекс	-«-
		Розроблено технології одержання промислових наноструктурованих покриттів цинк-силікатних покриттів	Протикорозійний захист металопрокату	Машинобудування	-«-

Продовження табл.Д.2

1	2	3	4	5	6
2012	Нанобіо-технології	Виготовлено імунонанокон'югати для високочутливого виявлення в плазмі крові біомаркерів	Виявлення ранніх стадій нейродегенеративних і онкологічних захворювань	Медицина	Депопуляція і старіння населення
		Удосконалено технології одержання різних видів наноструктурованої біоактивної кераміки та організовано	Дослідно-промислове виготовлення імплантатів для відновлення кісткової тканини і адресної доставки ліків	Медицина	-«-
2013	Наноматеріали	На основі квантово-механічних розрахунків досліджено теорію явища магнітного впорядкування в розбавлених магнітних напівпровідниках	Застосування при розробці базових матеріалів спінтроніки	Електроніка, ІКТ	Технологічне відставання (6 уклад)
		Отримано тестові структури з використанням керованих локальних електрохімічних реакцій окислення та масопереносу на поверхні напівпро-відникових матеріалів	Використан-ня в якості елементів енергонезалежної пам'яті нового покоління	-«-	-«-
		Розроблено нанокомпозити із структурою ядро-оболонка на основі графену, $LiFePO_4$ та електропровідного полімеру. Ці нанокомпозити демонструють більш високі експлуатаційні характеристики в акумуляторах, ніж існуючі	Використання в якості катоду в літієвих акумуляторах	Енергетика	Нова енергетика
		Одержано нанокомпозити й наногетероструктури на основі графену, оксидів Ti, Mn, W і селеніду кадмію	Електроди фотоелектрохімічних систем перетворення сонячної енергії	Енергетика	Нова енергетика

Продовження табл.Д.2

1	2	3	4	5	6
2013		Встановлено можливість застосування нанокомпозиційних полімерних матеріалів як оптичних клеїв для з'єднання конструкційних елементів при виготовленні оптико-електронних пристроїв	Використання при виготовленні оптико-електронних пристроїв	Електроніка, ІКТ	Технологічне відставання (6 уклад)
	Нанотехнології	Розроблено водну і безводну технології вирощування нанокристалів благородних металів, що є важливим для розробки фізичних принципів керованого формування двовимірних наноструктур на основі органічних молекул та металічних наночастинок	Технологія одержання нових наноматеріалів	Нові матеріали	Технологічне відставання (6 уклад)
		Розроблено технологічну схему виготовлення малогабаритного чипа сенсора температури на основі наноструктурованих шарів високоомного карбіду кремнію на сапфірі	Створення високо надійних приладів контролю температури техпроцесів	Сенсори	-«-
		Підготовлено ескізну конструкторську документацію для побудови субгармонійних змішувачів на діод них бар'єрах Шоткі та виготовлено експериментальні зразки таких змішувачів для робочого діапазону частот 325–400 ГГц	Новітні системи радіолокації, радіонавігації, радіобачення, експериментального і наукового приладобудування	Електроніка, ІКТ	-«-
		Розроблено і атестовано Державним підприємством «Укрметртестстандарт» методику вимірювання товщинного розподілу елементного складу та товщини багатошарових твердотільних покриттів нанометрових розмірів методом масспектрометрії вторинних нейтральних часток	Діагностика наноматеріалів, наноструктур та аморфних сплавів	Нові матеріали	-«-

Закінчення табл.Д.2

1	2	3	4	5	6
		Розроблено дослідно-промислові технології отримання нанопорошків титанату барію, нітридів бору і титану, карбонітриду титану та запроектовано ділянку дослідно-промислового виробництва порошків	Створення деталей до приладів пасивної електроніки	Електроніка, ІКТ	
	Нанобіотехнології	Підготовлено проект типового регламенту виробництва біоактивних порошків гідрокиапатиту і трикальцій-фосфату з адсорбованими ліками	Адсорбовані ліки для клінічного застосування	Медицина	Депопуляція і старіння населення

Складено за [72; 73].

Таблиця Д.3

Найбільш значущі результати виконання цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Фундаментальні проблеми створення нових речовин і матеріалів хімічного виробництва» на 2012 – 2016 рр.» за 2012 – 2013 рр.

Рік	Напрямок програми	Найбільш значущий результат	Практична цінність	Галузь	Глобальна проблема
1	2	3	4	5	6
2012	Нові органічні речовини і матеріали та композити на їх основі	Оптимізовано методику синтезу більше ніж 20 похідних імідазол-4,5-дикарбонової кислоти з інтенсивною флуоресценцією (400–430 нм) і високим квантовим виходом. Розроблено способи нанесення багатошарових електролюмінісцентних наногетероструктур CdSeZnS на гнучкий прозорий електрод та виготовлено діючі зразки світлодіодів	Синтез речовини з інтенсивною флуоресцеїнцією і високим квантовим виходом	Енергозбереження	Нестача та вичерпання ресурсів
		Запропоновано нові хімічні та електрохімічні способи одержання ряду наноматеріалів і наносистем для сучасних над швидких фотонно-плазмонних і поліграфічних систем реєстрації та перетворення інформації, оптичних сенсорів, високоефективних каталізаторів для окислення метану і електрокаталізаторів, що не містять благородних металів	Наноматеріали і наносистеми для сучасної мікроелектронної техніки	Усі галузі, електроніка, ІКТ	Технологічне відставання (шостий уклад)
	Нові неорганічні матеріали для сучасної техніки	Розроблено новий кінетичний метод визначення протиокисної стабільності органічних субстратів та антиоксидантних властивостей координаційних сполук. Створено нові перспективні сорбенти для агропромислового комплексу і водоочищення	Нові перспективні сорбенти для агропромислового комплексу і водоочищення	Охорона довкілля	Забруднення навколишнього середовища
	Нові полімерні матеріали різного	Розроблено підходи до створення нового покоління промислово важливих гранульованих органо-неорганічних іонообмінних матеріалів, які поєднують	Створення нових матеріалів, що поєднують	Охорона довкілля	Забруднення навколишнього

Продовження табл. Д.3

1	2	3	4	5	6
	функціонального призначення	термостабільність, стійкість до забруднення органічними речовинами і бактеріями	термостабільність, стійкість до забруднення органікою		середовища
2012		Створено нові пінополіуретани та пономерні поліуретани різного функціонального призначення, здатні до руйнування під дією природного середовища	Поліуретани, що руйнуються під дією природного середовища	-«-	-«-
	Нові речовини і матеріали для потреб медицини і агропромислового комплексу	Розроблено методики колоїдно-хімічного синтезу у водному середовищі дисперсій наночастинок золота, срібла, міді та вісмуту різного розміру, які є протимікробними агентами та одержано нові фторвмісні синтетичні аналоги природних нуклеозидів – противірусні агенти	Одержання дисперсій наночастинок золота, срібла, міді та вісмуту як протимікробних агентів	Медицина	Депопуляція і старіння населення
		Опрацьовано підходи до одержання нових високоефективних регуляторів та інгібіторів кіназ на основі похідних піразолізохіноліну, які є новим класом малотоксичних протиракових сполук	Одержання нового класу малотоксичних протиракових сполук	-«-	-«-
		Розвинуто підходи до створення магнітних рідин на основі слабко-агломерованих наночастинок – потенційно перспективних індукторів гіперемії глибоко розташованих пухлин	Рідини на основі наночастинок – потенційно перспективних для лікування пухлин	-«-	-«-
2013	Нові органічні речовини і матеріали та	Одержано нові нанокомпозити на основі V_2O_5, Fe_3O_4 та графенів, які мають покращені електрохімічні характеристики при використанні їх як активних компонентів	Нові нанокомпозити з підвищеними електропро-	Усі галузі, електроніка,	Технологічне відставання

Продовження табл. Д.3

1	2	3	4	5	6
2013	композити на їх основі	електродних мас літієвих акумуляторів. Встановлено, що вміст 2 % графенів в нанокомпозитах є достатнім для значного підвищення електропро-відності таких наноматеріалів та збільшення їх питомої розрядної ємності	відністю та питомою розрядною ємністю	енер-гетика	(шостий уклад)
	Нові неорганічні матеріали для сучасної техніки	Синтезовано низку перспективних комплексів лантаноїдів з похідними імідазолу для нових ефективних люмінісцентних і електролюмінісцентних матеріалів, що відрізняються високими виходами у видимій зоні	Компоненти для ефективних люмінісцентних і електролюмінісцентних матеріалів	Енерго-сбереження	Нова енерге-тика
		Методом низькотемпературної іонної імплантації на поверхню нержавіючої сталі одержано низу нових наноструктурованих каталізаторів, що мають високу каталітичну активність при проведенні реакції розкладу етанолу з утворенням чистого водню при нижчих температурах, ніж традиційні		Альтер-нативна енерге-тика	Нова енерге-тика
		Розроблено підходи до піларування цеолітних моношарів з одержанням мезопористих матеріалів великої площі поверхні. Встановлено, що ці матеріали із морфологією ультратонких нанопластинок мають набагато вищу каталітичну активність в реакції 2-нафтолу з метилбут-3-ен-2-олом у порівнянні із промисловими каталізаторами на основі	Одержання мезопористих матеріалів великої площі поверхні	Охорона довкілля	Забруднення навколишнього середовища
		Одержано перспективні іоніти для видалення довгоживучих радіонуклідів ^{137}Cs, ^{90}Sr, урану, плутонію і америцію, що перевершують за своєю сорбційною здатністю практично всі відомі неорга-	Одержання перспективних іоніти для видалення довгоживу-	-«-	-«-

Продовження табл.Д.3

1	2	3	4	5	6
		нічні іоніти для сорбційного виділення і концентрування цих радіонуклідів. Доведено ефективність їх застосування при очищенні розчинів об'єкта «Укриття»	чих радіонуклідів		
		Розроблено новий універсальний підхід до створення функціональних елементів оптоелектроніки на основі іонних рідких кристалів, який базується на каскадних процесах синтезу композитів в іонному рідкокристалічному нанореакторі	Створення функціональних елементів оптоелектроніки на основі іонних рідких кристалів	Усі галузі, електроніка, ІКТ	Технологічне відставання (шостий уклад)
	Нові полімерні матеріали різного функціонального призначення	Варіюванням вмісту екзосахаридвмісної компоненти в складі поліуретанових макромолекул одержано матеріали, які здатні до деструкції в навколишньому середовищі порівняно з вихідними поліуретановими матрицями, що свідчить про ініціювання екзополісахаридами процесів деструкції	Матеріали, які здатні до деструкції в навколишньому середовищі	Охорона довкілля	Забруднення навколишнього середовища
		Створено нові стійкі до акумулювання органічних речовин і механічних ушкоджень органо-нерганічні мембрани для ультрафільтрації молочної сироватки	Нові стійкі мембрани для ультрафільтрації молочної сироватки	Харчова промисловість	Нестача продовольства
	Нові речовини і матеріали для потреб медицини і агропромислового комплексу	Одержано нові ізохіноліни, конденсовані з ядрами піролу для створення лікарських засобів кіназ і протиракових препаратів	Нові речовини для створення лікарських засобів кіназ і протиракових препаратів	Харчова фармацевтична галузі	Нестача продовольства, депопуляція і старіння населення
		Синтезовано ряд нових 3-заміщених дигідробенздіазепінів – перспективних анальгетиків та анксіолітиків нового покоління. Знайдено сполуку, яка має	Анальгетики та анксіолітики нового покоління	-«-	-«-

Закінчення табл.Д.3

1	2	3	4	5	6
		високу аналгетичну та значну анксіолітичну активність при низькій токсичності і є перспективною для впровадження у медичну практику			
		На основі лігноцелюлозних сорбентів створено новий ефективний функціональний харчовий продукт для виведення з організму цезію, інших радіонуклідів, очищення організму та відновлення функцій його природних захисних систем. Клінічні дослідження показали, що сорбент проявляє значний некорпоративний ефект та імуномоделюючу дію, а також сприяє нормалізації білірубіну	Функціональний харчовий продукт для виведення радіонуклідів, відновлення захисних систем організму та нормалізації білірубіну	-«-	-«-

Складено за [72; 73].

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

Наукове видання

КИЗИМ Микола Олександрович
МАТЮШЕНКО Ігор Юрійович
ШОСТАК І В
ДАНОВА М О

ПЕРСПЕКТИВИ ФОРСАЙТ-ПРОГНОЗУВАННЯ ПРІОРИТЕТНИХ НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ НАНОТЕХНОЛОГІЙ І НАНОМАТЕРІАЛІВ В КРАЇНАХ СВІТУ І УКРАЇНІ

Монографія

Підписано до друку . .2015 р. Формат 60 х 84/16. Папір офсетний.
Гарнітура ArnoPro. Друк різографічний. Ум. друк. арк. 14,9.
Обл.-вид. арк. 17,9. Наклад 300 прим. Зам. № .

Видавничий Дім «ІНЖЕК»
61001, Харків, пр. Гагаріна, 20. Тел. (057) 7034021, 7034001.
e-mail: inzhek@vl.kharkov.ua; www. inzhek.kharkov.ua
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру України суб'єктів
видавничої діяльності ДК № 2265 від 18.08.2005 р.
Надруковано у ВД «ІНЖЕК», Харків, пр. Гагаріна, 20.