

ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ МЕТОДОЛОГІЇ ФОРСАЙТ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ НАУКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРІОРИТЕТІВ НАНОІНДУСТРІЇ

© 2014 МАТЮШЕНКО І. Ю., ШОСТАК І. В., ДАНОВА М. О.

УДК 004.89

Матюшенко І. Ю., Шостак І. В., Данова М. О. Підхід до автоматизації методології форсайт щодо визначення науково-технологічних пріоритетів наноіндустрії

Наведено узагальнену процедуру реалізації форсайт-проекту з визначення перспективних напрямів НТР нанотехнологій. В результаті вирішення задачі буде створено інформаційну технологію реалізації форсайт-проекту за вибором пріоритетів при прогнозуванні НТР наноіндустрії. В якості формальної основи обрано методи бібліометрії та наукометрії (підрахунку кількості публікацій), багатокритеріальних задач прийняття рішень (t-впорядкування, Парето-оптимальності) та патентного аналізу (аналізу кривих динаміки винахідницької активності). Викладено підхід до комплексної автоматизації форсайт-проектів в Україні. Теоретичний доробок у перспективі буде впроваджено у формі діалогової системи підтримки прийняття рішень учасників форсайт-проектів. При цьому доступ до системи буде забезпечено за допомогою web-інтерфейсу. Економічний ефект від комплексної комп'ютеризації форсайт-проектів буде досягнуто шляхом зниження витрат на оплату експертів, за рахунок зменшення їх кількості.

Ключові слова: форсайт-проект, нанотехнології, науково-технологічний розвиток, тематичні напрямки

Рис.: 2. **Табл.:** 7. **Формул:** 4. **Бібл.:** 29.

Матюшенко Ігор Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, професор, кафедра міжнародних економічних відносин, Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (пл. Свободи, 4, Харків, 61022, Україна)

Email: igormatyushenko@mail.ru

Шостак Ігор Володимирович – доктор технічних наук, доцент, професор, кафедра інженерії програмного забезпечення, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (вул. Чкалова, 17, Харків, 61070, Україна)

Email: iv.shostak@gmail.com

Данова Марія Олександрівна – аспірант, кафедра інженерії програмного забезпечення, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (вул. Чкалова, 17, Харків, 61070, Україна)

Email: danovamariya@gmail.com

УДК 004.89

UDC 004.89

Матюшенко И. Ю., Шостак И. В., Данова М. А. Подход к автоматизации методологии форсайт относительно определения научно-технологических приоритетов наноиндустрии

Приведена обобщенная процедура реализации форсайт-проекта по определению перспективных направлений НТР нанотехнологий. В результате решения задачи будет создана информационная технология реализации форсайт-проекта по выбору приоритетов при прогнозировании НТР наноиндустрии. В качестве формальной основы выбраны методы библиометрии и наукометрии (подсчета количества публикаций), многокритериальных задач принятия решений (t-упорядочения, Парето-оптимальности) и патентного анализа (анализа кривых динамики изобретательской активности). Изложен подход к комплексной автоматизации форсайт-проектів в Украине. Теоретические разработки в перспективе будут внедрены в форме диалоговой системы поддержки принятия решений участников форсайт-проектів. При этом доступ к системе будет обеспечен при помощи web-интерфейса. Экономический эффект от комплексной компьютеризации форсайт-проектів будет достигнут путем снижения расходов на оплату экспертов, за счет уменьшения их количества.

Ключевые слова: форсайт-проект, нанотехнологии, научно-технологическое развитие, тематические направления

Рис.: 2. **Табл.:** 7. **Формул:** 4. **Библ.:** 29.

Матюшенко Игорь Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, профессор, кафедра международных экономических отношений, Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина (пл. Свободы, 4, Харьков, 61022, Украина)

Email: igormatyushenko@mail.ru

Шостак Игорь Владимирович – доктор технических наук, доцент, профессор, кафедра инженерии программного обеспечения, Национальный

Matyushenko I. Yu., Shostak I. V., Danova M. O. Approach to Automation of Methodology Foresight Concerning the Definition of the Scientific and Technological Priorities of Nano Industry

The generalized procedure for implementing of Foresight project to identify promising areas of nanotechnology NTR was suggested. As a result of solving the problem an information technology implementation of the Foresight Project will be created on setting priorities in predicting NTR nano industry. As a formal framework the methods of bibliometrics and scientometrics (counting the number of publications), multicriteria decision making problems (t-ordering, Pareto optimality) and patent analysis (analysis of the dynamics of inventive activity curves) were chosen. An approach to complex automation foresight projects in Ukraine was given. Theoretical developments in the future will be implemented in the form of an interactive decision support system for members of the Foresight project. However, access is provided to the system using the web-interface. Economic effect of the complex computerization of foresight projects will be achieved by reducing expenditures on experts by reducing their number.

Key words: foresight project, nanotechnology, scientific and technological development, thematic areas

Pic.: 2. **Tabl.:** 7. **Formulae:** 4. **Bibl.:** 29.

Matyushenko Igor Yu. – Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor, Department of International Economic Relations, V. N. Karazin Kharkiv National University (pl. Svobody, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine)

Email: igormatyushenko@mail.ru

Shostak Igor V. – Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor, Professor, Department of Software Engineering, National Aerospace University

аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» (ул. Чкалова, 17, Харьков, 61070, Украина)

Email: iv.shostak@gmail.com

Данова Марія Александровна – аспірант, кафедра інженерії програмного забезпечення, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харьковский авиационный институт» (ул. Чкалова, 17, Харьков, 61070, Украина)

Email: danovamariya@gmail.com

«Kharkiv Aviation Institute» named after M. Ye. Zhukovskiy (vul. Chkalova, 17, Kharkiv, 61070, Ukraine)

Email: iv.shostak@gmail.com

Danova Mariia O. – Postgraduate Student, Department of Software Engineering, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute» named after M. Ye. Zhukovskiy (vul. Chkalova, 17, Kharkiv, 61070, Ukraine)

Email: danovamariya@gmail.com

На сьогодні в більшості країн світу (США, Японії, Великобританії, Франції, Швеції, Росії та ін.), зокрема, і в Україні, методологія Форсайт зарекомендувала себе як найбільш ефективний інструмент вибору пріоритетів у сфері науки і технологій. Дана методологія застосовується для прогнозування науково-технічного розвитку (НТР) на всіх рівнях – від корпоративного до національного. На основі Форсайту розробляються середньо- і довгострокові, на 5–30 років, стратегії розвитку економіки, науки, технологій, націлені на підвищення конкурентоспроможності і, в цілому, на забезпечення ефективного розвитку соціально-економічної сфери.

В даний час відсутня єдина модель Форсайту, кожна країна адаптує її до своїх умов з урахуванням національних інтересів, використовуючи при цьому різні методики прогнозування майбутнього. Однак аналіз публікацій вітчиз-

няних і зарубіжних джерел [1–8], присвячених дослідженню теоретичних і практичних аспектів застосування методології Форсайт, показав, що існує необхідність подальшого дослідження проблеми, пов'язаної з автоматизацією методології Форсайт. Так, український варіант методології Форсайт [3] передбачає реалізацію набору етапів (рис. 1) шляхом анкетування групи експертів. Авторами були проаналізовані шляхи автоматизації кожного з чотирьох етапів національного форсайт-проекту [9–12]. В результаті цього аналізу була запропонована інформаційна технологія підтримки форсайт-проектів в Україні [13], яка заснована на спеціалізованій методиці вибору пріоритетів [14]. Впровадження зазначеної технології надасть змогу підвищити ефективність проведення національних форсайт-проектів за рахунок повної їх комп'ютеризації на основі формальних методів.

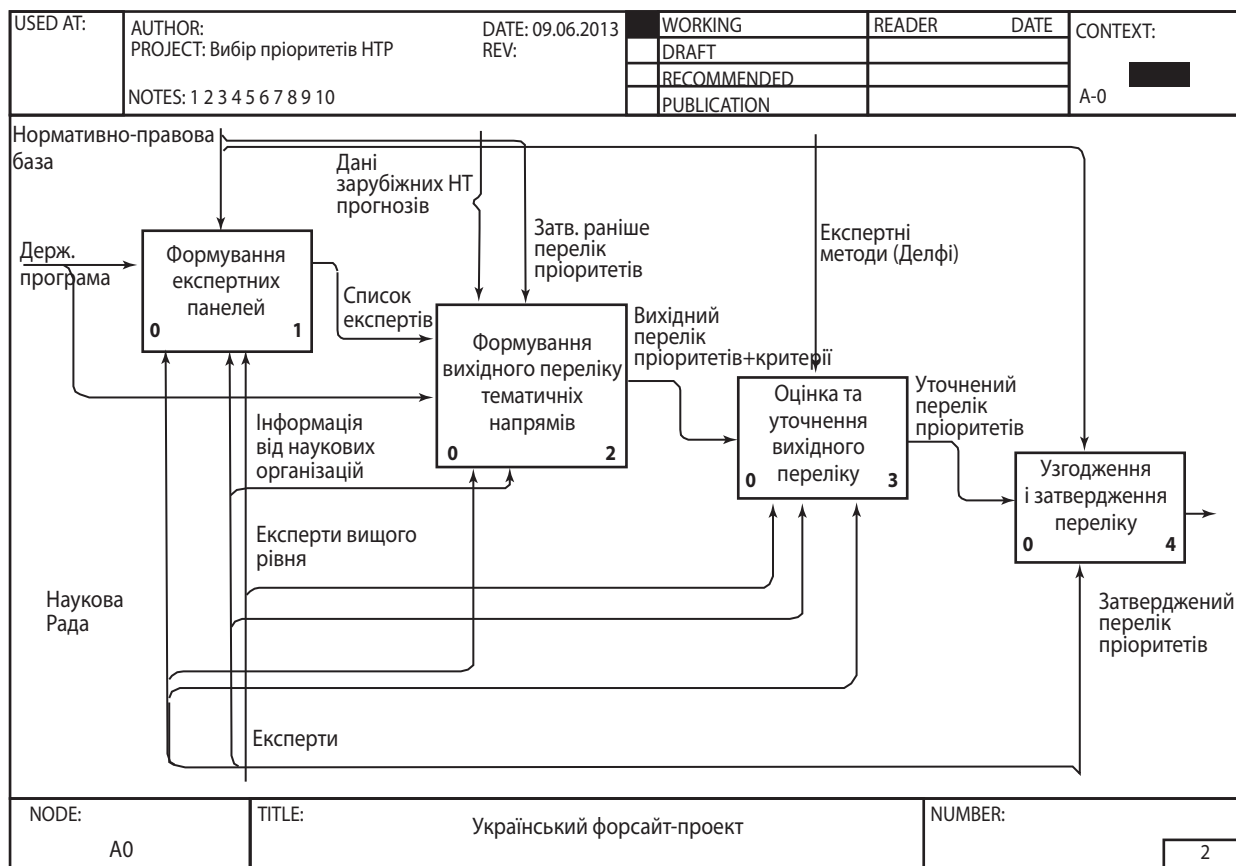


Рис. 1. Етапи національного прогнозно-аналітичного дослідження з вибору найбільш перспективних напрямів розвитку науки і техніки

Мета статті полягає в описі комп'ютерної реалізації форсайт-проектів, як інформаційної технології, втіленої у формі діалогової комп'ютерної системи підтримки прийняття рішень (СППР) учасників форсайт-проекту.

Постановка задачі

Як ілюстративний приклад використання запропонованої інформаційної технології [13] розглянемо узагальнену процедуру реалізації форсайт-проекту по визначенню перспективних напрямів НТР нанотехнологій.

Вихідними даними є обов'язкові етапи національної методики прогнозно-аналітичних досліджень (рис. 1), адаптованої під використання в рамках комп'ютеризованої СППР реалізації кожного етапу методології Форсайт [14].

Хід вирішення задачі складається з таких кроків:

Формування експертних панелей, тобто формується чисельність і склад експертної групи для участі у форсайт-проекті на підставі оцінки рівня компетентності кожного експерта.

Формування вихідного переліку напрямів наноіндустрії. Необхідно провести аналіз стану і перспектив розвитку наноіндустрії із застосуванням методів бібліометрії (метод підрахунку кількості публікацій) [15], наукометрії (метод аналізу цитування, контент-аналіз, тезарусний і сленговий методи) [16] та патентного аналізу (аналіз кривих динаміки винахідницької активності) [17]. Після цього, для отриманих переліків науково-технічних напрямків розвитку наноіндустрії, розраховуються значення критеріїв їх оцінки, передбачених національною методикою форсайтних досліджень [2]. Таким чином, всі «провідні» напрями матимуть кількісні оцінки по кожному з критеріїв, що надалі дозволить визначити ряд пріоритетних.

Вибір пріоритетних напрямів розвитку наноіндустрії. Вихідними даними для вибору пріоритетних напрямів є перелік напрямів наноіндустрії, а також безліч 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-порядкування.

Узгодження і затвердження пріоритетних напрямів. Відповідно до діючої методики [2] здійснюється строго регламентована процедура узгодження та затвердження пріоритетних напрямів.

У результаті рішення задачі буде створена інформаційна технологія реалізації форсайт-проекту за вибором пріоритетів при прогнозуванні НТР наноіндустрії. Надалі передбачається втілити розроблену інформаційну технологію у формі діалогової комп'ютерної СППР учасників форсайт-проекту.

Прийmemo наступні 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.

Формування експертних панелей

Склад експертів, що беруть участь у прогнозуванні – ключовий параметр, що визначає якість майбутнього прогнозу. Таким чином, для проведення якісної експертизи необхідно вирішити такі завдання:

- оцінити рівень компетентності експертів;

- визначити чисельність експертної групи;
- сформувати остаточний список експертів, що беруть участь в експертизі.

Позначимо через Q множину експертів, тоді для оцінки рівня компетентності кожного i -го експерта ($i = 1, \dots, m$) скористаємося узагальненим показником рівня компетентності (K_i), наведеним у [18], який враховує як професійну діяльність, так і особисті якості експертів.

Для визначення необхідного числа експертів скористаємося наступною формулою:

$$N_{\min} = 0,5(3/\varepsilon + 5) \quad (1)$$

де N_{\min} – мінімально необхідне число експертів;

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

При допустимій помилці експертного аналізу в 5 % ($\varepsilon = 0,05$) кількість експертів має бути не менше 32-х. Згідно з роботою [19] необхідна кількість експертів для групового оцінювання має бути не менше ніж 7–9 осіб, отже, число експертів, що беруть участь у прогнозуванні, знаходиться в межах $7 \leq N \leq 32$.

Щоб отримати остаточний список всіх експертів, які пройшли атестацію, їх ранжують згідно з рівнем компетентності (значенням узагальненого показника K_i) та відповідно до відношення (1).

Таким чином, в рамках проведеного нами прогнозного 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, що беруть участь в експертизі, наведено в табл. 1.

Таблиця 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_00017	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

Як вихідні дані реалізації даного етапу виступають напрями розвитку нанотехнологій [20]:

- 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 тематичних напрямів скористаємося методами підрахунку кількості публікацій і аналізом кривих динаміки винахідницької ак-

тивності, з урахуванням прийнятих нами припущень. Розглянемо докладно реалізацію кожного з методів.

З метою виділити «провідні» тематичні напрями в методі підрахунку кількості публікацій спочатку проводять аналіз кількості прореферованих наукових документів з різних галузей знань, а потім розраховують середню швидкість зростання 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» [21]. Результати даного аналізу за 5-ти річний часовий інтервал (2009 – 2013 рр.) наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Розподіл наукових публікацій у наоіндустрії за тематичними напрямами в 2009 – 2013 рр.

№ з/п	Напря́м	Кількість наукових документів (статті, автореферати, книги), шт.					Питома вага у загальній кількості публікацій, %	
		2009	2010	2011	2012	2013		Всього
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 наноматеріалів і нанопристроїв	57	35	42	46	47	227	13%
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%

У патентному дослідженні, з метою визначення перспективності конкретного напрямку, проводиться аналіз кривих динаміки винахідницької активності по кожному науково-технічному напрямку, який полягає в побудові кумулятивних рядів патентування, які характеризуються зростанням сумарного числа патентів, що відносяться до даного напрямку [17]. Як джерело патентної інформації була використана інтерактивна БД «Винаходи (корисні моделі) в Україні» [22]. Пошук здійснювався з часовим інтервалом в 5 років (2009 – 2013 рр.) згідно з міжнародною патентною класифікацією по класу В82 «Нанотехнологія», а також за класами, які належать по суті до нанотехнологій [23]: А61К 9/51 – нанокапсули для медичних препаратів; В05D 1/00 – способи нанесення рідин або інших текучих речовин на поверхню; С01В 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; Н01F 10/32 – багаточарові структури зі спіновим зв'язком, наприклад наноструктуровані над-решітки; Н01F 41/30 – способи і пристрої для нанесення наноструктур, наприклад за допомогою молекулярно-пучкової епітаксії; Н01L 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. 2).

Для кумулятивних рядів патентування інтенсивність розвитку досліджуваного напрямку визначається кутом нахилу кривої динаміки патентування до часової осі, тобто до середніх точок цих ділянок кривих для кожного напрямку розвитку проводять дотичні і визначають тангенс кута нахилу дотичної, а на його основі – коефіцієнт вагомості досліджуваного напрямку наоіндустрії (табл. 3), рівний відношенню тангенса до суми тангенсів кутів нахилу дотичних, який і приймають як кількісний показник перспективності досліджуваного напрямку.

Таким чином, за результатами проведених бібліометричного і патентного аналізів у **вихідний перелік з визначення пріоритетних напрямів розвитку наоіндустрії 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.

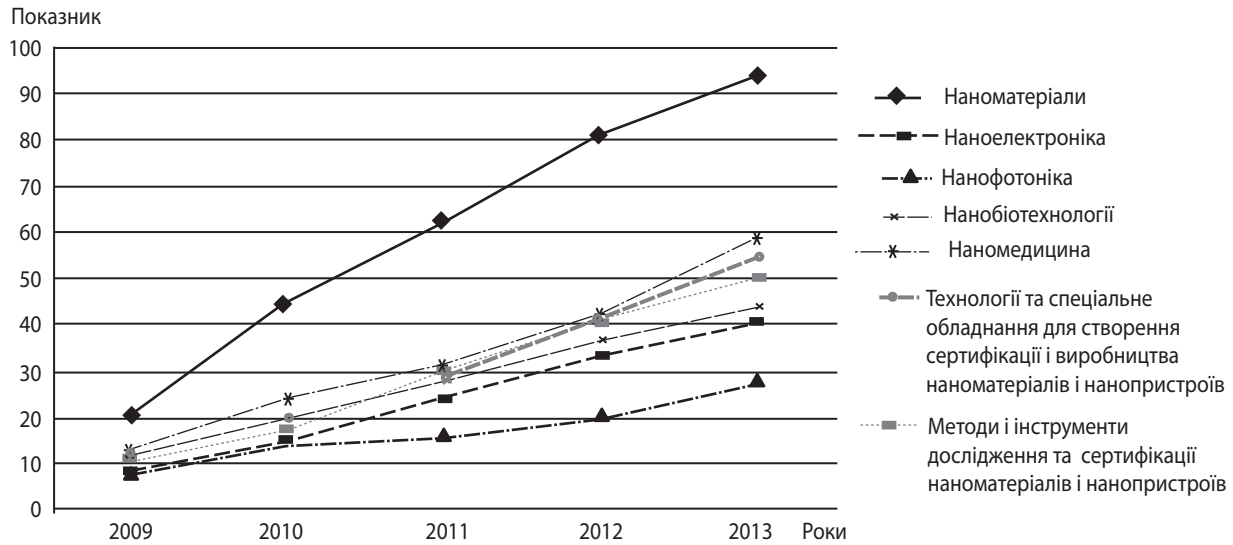


Рис. 2. Зміна сумарної кількості патентів за напрямками нанотехнологій

№ з/п	Напрямок	2009	2010	2011	2012	2013
1.	Наноматеріали	21	45	63	81	94
2.	Наноелектроніка	8	15	24	33	40
3.	Нанофотоніка	8	14	16	20	27
4.	Нанобіотехнології	12	20	28	37	44
5.	Наномедицина	13	24	31	42	59
6.	Методи та інструменти дослідження та сертифікації наноматеріалів і нанопристроїв	11	18	30	41	50
7.	Технології та спеціальне обладнання для створення і виробництва наноматеріалів і нанопристроїв	13	20	29	42	55

Таблиця 3

Показники перспективних досліджуваних напрямів наноіндустрії

№ з/п	Напрямок	$tg\alpha_i$	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 та 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

Наступним кроком є розрахунок значень критеріїв, які передбачені національною методикою форсайтних досліджень [2], для кожного з вихідних напрямків. Зазначені критерії, згідно з їх значенням, ділять на кількісні та якісні,

що отримані шляхом опитування експертів. Згідно з прийнятими нами допущеннями, розрахуємо значення основних критеріїв для кожного з напрямів наноіндустрії.

До кількісних критеріїв з основної групи, значення яких по кожному напрямку вказані в результуючій табл. 6, належать: «Фінансування» (K_f) та «Результативність науково-технічної діяльності» ($K_{НТД}$). Для отримання значень за критерієм «Фінансування» за 2013 рік використовувалися дані державної науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 рр. [24]. Критерій «Результативність науково-технічної діяльності» має на увазі під собою сумарний розрахунок індикаторів розвитку даного напрямку 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, відносяться: застосовність, перспективи виходу на світовий ринок, наявність наукового лідера. Кожен із зазначених критеріїв має бальну оцінку і може приймати такі значення:

- Застосовність у найближчому майбутньому (K_6): до 3-х років (3 бали); через 3–5 років (2 бала); через 5–10 років (1 бал).
- Перспективи виходу на світовий ринок (K_{MP}): має (2 бала); немає (1 бал).

- Наявність наукового лідера ($K_{нл}$): має (2 бала); не має (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 до таблиці; так, для напрямку «наноматеріали» відповіді експертів розподілилися таким чином (табл. 4). Список експертів, що беруть участь в опитуванні, наведено в табл.1.

Для обробки групових експертних оцінок необхідно перевірити ступінь узгодженості думок експертів, а потім визначити узагальнену (агреговану) групову оцінку для

кожного напрямку по кожному з критеріїв. Як показник ступеня узгодженості думок експертів застосовують коефіцієнт варіації [25], 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 надходить в аналітичну групу для перевірки узгодженості. Значення коефіцієнтів варіації експертних оцінок за напрямками наноіндустрії, що беруть участь в оцінці, відображені в табл. 5.

Таблиця 4

Результати експертного оцінювання за напрямом «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 ($K_б$)	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3
Перспективи виходу на світовий ринок ($K_{мр}$)	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Наявність наукового лідера ($K_{нл}$)	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2

Таблиця 5

Значення коефіцієнта варіації для напрямів наноіндустрії

№ з/п	Напрямок	V_j , %		
		$K_б$	$K_{мр}$	$K_{нл}$
1.	Наноматеріали	17%	32%	32%
2.	Наномедицина	20%	28%	30%
3.	Методи й 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%

Згідно з отриманим значенням коефіцієнта можна зробити висновок про узгодженість думок експертів. Наступний крок – розрахунок групової оцінки кожного тематичного напрямку [26] з урахуванням вагових коефіцієнтів експертів з табл.1 (як середньозважену, за методом середніх бальних оцінок). Таким чином, отримуємо множину значень критеріїв для кожного напрямку наноіндустрії (табл. 6).

Вибір пріоритетних напрямів розвитку наноіндустрії

Поставлена нами задача про вибір найбільш пріоритетних напрямів розвитку наноіндустрії відноситься до класу багатокритеріальних задач прийняття рішень (БЗПР). Обґрунтування вищесказаного твердження відображено авторами в [14]. Мета рішення БЗПР полягає у виділенні

Значення основних коефіцієнтів для напрямів наноіндустрії

№ з/п	Напрямок	K_{ϕ} млн грн	K_{HTD} шт.	K_6	K_{MP}	K_{HL}
1.	Наноматеріали	44,5	17	26,96	11,21	11,04
2.	Наномедицина	30,7	18	27,33	13,2	10,86
3.	Методи й 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

множини Парето [27], тобто в отриманні напрямів, які мають якомога більш високі оцінки за кожним критерієм.

Математична модель багатокритеріальної ЗПР для нашого випадку може бути представлена у вигляді

$$D_f = \langle X, f_1, f_2, \dots, f_m \rangle,$$

де X – допустимих альтернатив (тематичних напрямів);

f_j – числова функція, що задана на множині X , при цьому $f_j(x)$ є оцінка альтернативи $x \in X$ по j -му критерію ($j = 1, m$).

Всі критеріальні функції f_j відображають корисність тематичного спрямування $x \in X$ з позицій різних критеріїв і повинні бути порівняними, тобто значення кожної критеріальної функції змінюються в одних і тих же межах

[a, b]:

$$\forall x \in X : 0 \leq a \leq f_j(x) \leq b, j = \overline{1, m}.$$

При цьому найменш переважна по будь-якому з приватних критеріїв $f_j(x)$ альтернатива отримує оцінку a , а найбільш переважна – оцінку b ($a = 0, b = 1$) [24]. Значення нових критеріальних функцій $\bar{f}_j(x)$ наведені в табл. 7.

Зазначені вище числові функції $f_j(x)$ ($j = 1, m$) утворюють векторний критерій $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$. Для всякої альтернативи $x \in X$ набір її оцінок за всіма критеріями, тобто набір $(f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)) \in R^m$, є векторна оцінка альтернативи x (R^m – простір m -мірних векторів). Всі можливі векторні оцінки утворюють множину можливих оцінок

Таблиця 7

Значення критеріальних функцій у проміжку [0, 1]

№ з/п	Напрямок (x_i)	Критеріальні функції ($\bar{f}_j(x)$ *)				
		$\bar{f}_1(x)$	$\bar{f}_2(x)$	$\bar{f}_3(x)$	$\bar{f}_4(x)$	$\bar{f}_5(x)$
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 й 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 $\bar{f}_1(x)$ відповідає критерію K_{ϕ} , $\bar{f}_2(x) - K_{HTD}$, $\bar{f}_3(x) - K_6$, $\bar{f}_4(x) - K_{MP}$, $\bar{f}_5(x) - K_{HL}$.

$$Y = f(X) = \{y \in R^m \mid y = f(x) \text{ при деякому } x \in X\}.$$

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 (отже, і порівняння альтернатив), – це відношення домінування по Парето [27]. 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 $m = 5$ і $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4\}$, тобто згідно зі значеннями критеріальних функцій (табл. 7) отримуємо такі 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 відшукування множини 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. Таким чином, ставиться завдання звуження вихідної множини альтернатив, а, як наслідок, і множини Парето, з метою вибору декількох альтернатив в якості остаточного результату. Одним з таких методів є метод t -упорядкування [28], що використовує ординальну інформацію особи, що приймає рішення (ОПР) про відносну значущість критеріїв.

В якості вихідної інформації для алгоритму t -упорядкування приймається множина S висловлювань ОПР про відносну важливість приватних критеріїв виду:

$$S = \{f_k = f_j; \dots; f_q > f_p\},$$

яку необхідно розширити за рахунок додавання нових транзитивних висловлювань, які є наслідками вже наявних. У нашому випадку згідно з [2] 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:

$$S = \{f_1 = f_3; f_2 > f_5; f_3 > f_2; f_3 > f_4; f_3 > f_5; f_1 > f_5; f_1 > f_2; f_1 > f_4\}. \quad (2)$$

З урахуванням отриманої множини (2) при порівнянні двох векторних оцінок будуватиметься відношення переваги за методом t -упорядкування [28]:

$$Z^t \succ W \leftrightarrow [\exists W' \in WE : Z \succ W'] \vee [\exists W'' \in WI : Z \succ W''], \quad (3)$$

$$Z \succ W \leftrightarrow \forall j \in [1: m] : z_j \geq w_j$$

де Z, W – векторні оцінки ($Z = (z_1, \dots, z_m)$; $W = (w_1, \dots, w_m)$);
 WE – множина W -еквівалентних векторів ($f_k = f_j$);

WI – множина W -поліпшених векторів ($f_k = f_j; f_q > f_p$).

На підставі (3) порівняємо пару векторних оцінок y_1, y_2 . Вектор y_1 фіксуємо, а за вектором y_2 отримуємо таку множину поліпшених векторів згідно з (2):

$$y'_2 = (0, 38; 0, 11; 0, 3; 0, 04; 0);$$

$$y''_2 = (0, 39; 0, 11; 0, 29; 0, 04; 0);$$

$$y'''_2 = (0, 39; 0, 11; 0, 29; 0, 01; 0, 03);$$

$$y''''_2 = (0, 417; 0, 11; 0, 29; 0, 01; 0, 003).$$

Отримуємо $y''''_2 \succ y_2, y_1 \succ y''''_2 \succ y_2$, отже, $y_1 \succ y_2$.

Таким чином, вектор y_1 запам'ятовуємо як парето-оптимальний і разом з вектором y_2 видаляємо з множини Y_1 . Отримуємо множину $Y_2 = \{y_3, y_4\}$. Вектори 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 перетворюємо на підставі множини S . Отримуємо:

$$y''''_4 = (0, 46; 0, 02; 1, 146; 0, 004; 0, 02), \quad y''''_4 \succ y_3, \quad y_4 \succ y_3.$$

У підсумку отримуємо таку множину парето-оптимальних векторів Y підсумку отримуємо таку множину парето-оптимальних векторів

$$P(Y) = \{y_1, y_4\} \quad (4).$$

На підставі отриманого результату можна зробити висновок, що пріоритетними напрямками розвитку нано-

індустрії 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 тематичних напрямів буде реалізовано відповідно з підходом, викладеним у [29]. Відповідно до цього підходу для реалізації форсайт-проекту синтезується спеціальна комп'ютерна середа, в яку занурені всі учасники проекту.

Висновки

Проаналізовано шляхи автоматизації кожного з чотирьох етапів Національного форсайт-проекту за вибором пріоритетів при прогнозуванні НТР наноіндустрії. Викладено підхід до комплексної автоматизації форсайт-проектів в Україні. Отримані результати служать методичною основою для створення системи комплексної автоматизації процесу прогнозування НТР великомасштабних об'єктів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шелюбская Н. В. Форсайт – механизм определения приоритетов формирования общества знаний стран Западной Европы : [текст] / Н. В. Шелюбская. – К. : Феникс, 2007. – 60 с.
2. 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.
3. Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки : [текст] : Закон України від 11 липня 2001 р. № 2623-III // Відомості Верховної Ради України. 2001. – № 48. – С. 253.
4. Havas A. Foresight in the Countries of Central and Eastern Europe : [text] / A. Havas, M. Keenan // The Handbook of Technology Foresight. – Cheltenham : Edward Elgar, 2008. – P. 44 – 88.
5. Проект Концепции долгосрочного прогноза научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2025 года // Материалы рабочей группы. – М., 2006.
6. Johnston R. Foresight in Industrialising Asia : [text] / R. Johnston, C. Sripaipan // The Handbook of Technology Foresight. – Cheltenham : Edward Elgar, 2008. – P. 333 – 356.
7. Loveridge D. United Kingdom Foresight Programme : [text] / D. Loveridge, L. Georghiou, M. Neveda. – PREST. – University of Manchester, 2001. – 200 p.
8. Cuhls K. Foresight in Germany : [text] / K. Cuhls // The Handbook of Technology Foresight. – Cheltenham : Edward Elgar, 2008. – P. 256 – 286.
9. Данова М. А. Проблемы комплексной компьютеризации процесса прогнозирования научно-технического развития региона : [текст] / М. А. Данова, И. В. Шостак // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 7(59). – С. 236 – 240.
10. Данова М. А. Онтологический подход к комплексной компьютеризации процесса прогнозирования научно-технического развития региона : [текст] / М. А. Данова, И. В. Шостак // Тези доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами», Алушта, 10 – 16 вересня 2012. – С. 60 – 61.
11. Данова М. А. Подход к автоматизации процесса прогнозирования научно-технического развития региона на осно-

ве форсайт-технологии : [текст] / М. А. Данова, И. В. Шостак // Збірник наукових праць військового інституту КНУ ім. Т. Г. Шевченка. – № 38. – С. 151 – 154.

12. Данова М. А. Вопросы компьютеризации процесса прогнозирования научно-технического развития крупномасштабных объектов на основе технологии форсайт : [текст] / М. А. Данова // Тези доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології в економіці та управлінні підприємствами, програмами та проектами», Рибаче, 08 – 13 вересня 2013. – С. 16.

13. Данова М. А. Информационная технология поддержки форсайт-проектов в Украине : [текст] / М. А. Данова, И. В. Шостак // Збірник наукових праць військового інституту КНУ ім. Т. Г. Шевченка. – 2013. – № 43. – С. 211 – 217.

14. 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. – 2013. – № 7 (104). – С. 227 – 231.

15. Воверне О. И. Библиометрия – структурная часть методологии информатики потоков : [текст] / О. И. Воверне // НТИ. Серия 1. – 1985. – № 7. – С. 1 – 5.

16. Налимов В. В. Наукометрия. Изучения развития науки как информационного процесса : [текст] / В. В. Налимов, З. М. Мульченко. – М. : Наука, 1969. – 192 с.

17. Скорняков Э. П. Методические рекомендации по проведению патентных исследований : [текст] / Э. П. Скорняков, Т. Б. Омарова, О. В. Чельшева. – М. : ИНИЦ Роспатента, 2000. – 87 с.

18. 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.

19. Андрейчиков А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике : [текст] / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М. : Финансы и статистика, 2000. – 368 с.

20. Андрощук Г. О. Нанотехнології у XXI столітті: стратегічні пріоритети та ринкові підходи до впровадження : [монографія] / Г. О. Андрощук, А. В. Ямчук, Н. В. Березняк та ін. – К. : УкрІНТЕІ, 2011. – 275 с.

21. 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=

22. Интерактивная БД «Изобретения (полезные модели) в Украине» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://base.ukrpatent.org/search/INV/>

23. 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.

24. Про затвердження Державної цільової науково-технічної програми «Нанотехнології та наноматеріали» на 2010 – 2014 роки : Постанова Кабінету Міністрів України від 28 жовтня 2009 р. № 1231.

25. Орлов А. И. Прикладная статистика : [текст] / А. И. Орлов. – М. : Экзамен, 2006. – 656 с.

26. Экспертные технологии поддержки принятия решений : [монография] / И. И. Коваленко, А. В. Швед. – Николаев : Илюн, 2013. – 216 с.

27. Петровский А. Б. Теория принятия решений : [учебник для студ. высш. учеб. заведений] / А. Б. Петровский. – М. : Академия, 2009. – 400 с.

28. Поспелова И. И. Многокритериальные задачи принятия решений : [учеб. пособие] / И. И. Поспелова, Л. А. Лотов. – М. : МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

29. Вишнеvский В. Ситуационный центр как инструмент для проведения форсайтных исследований : [текст] / В. Вишнеvский, С. Симонов // Материалы Международной научно-технической конференции ИТНЕА, Украина, Киев, 2010. – С. 40 – 45.

REFERENCES

Andreychikov, A. V., and Andreychikova, O. N. Analiz, sintez, planirovanie resheniy v ekonomike [Analysis, synthesis, planning decisions in the economy]. Moscow: Finansy i statistika, 2000.

Androschuk, H. O., Yamchuk, A. V., and Bereznjak, N. V. Nanotekhnologhii u XXI stolitti: stratehichni priorytety ta rynkovi pidkhody do vprovadzhenia [Nanotechnology in the XXI Century: Strategic priorities and market approaches to implementation]. Kyiv: UkrINTEI, 2011.

Alfimov, M. V., Gokhberg, L. M., and Fursov, K. S. "Nanotekhnologii: opredelenia i klassifikatsiia" [Nanotechnology: definition and classification]. Rossiyskie nanotekhnologii vol. 5, no. 7-8 (2010): 8-15.

Cuhls, K. "Foresight in Germany", 256-286. Cheltenham: Edward Elgar, 2008.

Danova, M. A., and Shostak, I. V. "Problemy kompleksnoi kompiuterizatsii protsessa prognozirovaniia nauchno-tekhnicheskogo razvitiia regiona" [Problems complex computerization process of forecasting scientific and technological development of the region]. Radioelektronni i komp'uterni systemy, no. 7 (59) (2012): 236-240.

Danova, M. A., and Shostak, I. V. "Ontologicheskii podkhod k kompleksnoi kompiuterizatsii protsessa prognozirovaniia nauchno-tekhnicheskogo razvitiia regiona" [Ontological approach to the complex computerization process of forecasting scientific and technological development of the region]. Suchasni informatsiini tekhnologhii v ekonomitsi ta upravlinni pidpriemstvamy, prohramamy ta proektamy. Alushta, 2012. 60-61.

Danova, M. A., and Shostak, I. V. "Podkhod k avtomatizatsii protsessa prognozirovaniia nauchno-tekhnicheskogo razvitiia regiona na osnove forsait-tekhnologhii" [Approach to automate the process of forecasting scientific and technological development of the region, based on technology foresight]. Zbirnyk naukovykh prats viiskovoho instytutu KNU im. T. H. Shevchenka, no. 38: 151-154.

Danova, M. A. "Voprosy kompiuterizatsii protsessa prognozirovaniia nauchno-tekhnicheskogo razvitiia krupnomashtabnykh ob'ektov na osnove tekhnologii forsait" [Questions computerization process of forecasting technological development of large-scale objects based on technology foresight]. Suchasni informatsiini tekhnologhii v ekonomitsi ta upravlinni pidpriemstvamy, prohramamy ta proektamy. Rybache, 2013. 16-.

Danova, M. A., and Shostak, I. V. "Informatsionnaia tekhnologhiiia podderzhki forsait-proektov v Ukraine" [Information technology support foresight projects in Ukraine]. Zbirnyk naukovykh prats viiskovoho instytutu KNU im. T. H. Shevchenka, no. 43 (2013): 211-217.

Danova, M. A. "Metodikavyboraprioritetovpriprognozirovaniia nauchno-tekhnicheskogo razvitiia krupnomashtabnykh ob'ektov na osnove tekhnologii forsait" [Methods of choosing priorities in predicting scientific and technological development of large-scale objects based on technology foresight]. Aviatsionno-kosmicheskaia tekhnika i tekhnologhii, no. 7 (104) (2013): 227-231.

Havas, A., and Keenan, M. "Foresight in the Countries of Central and Eastern Europe" In *The Handbook of Technology Foresight*, 44-88. Cheltenham: Edward Elgar, 2008.

"Interaktivnaia BD «Izobreteniiia (poleznye modeli) v Ukraine»" [Interactive Database "Inventions (Utility Models) in Ukraine"]. <http://base.ukrpatent.org/searchINV/>

Johnston, R., and Sripaipan, C. "Foresight in Industrialising Asia", 333-356. Cheltenham: Edward Elgar, 2008.

Kovalenko, I. I., and Shved, A. V. *Ekspertnye tekhnologii podderzhki priniatii resheniy* [Expert decision support technology]. Nikolaev: Ilion, 2013.

Loveridge, D., Georghiou, L., and Neveda, M. *United Kingdom Foresight Programme: University of Manchester*, 2001.

[Legal Act of Ukraine] (2001).

[Legal Act of Ukraine] (2009).

Malitskyi, B. A., Popovych, O. S., and Soloviov, V. P. *Metodychni rekomendatsii shchodo provedennia prohnazno-analitychnoho doslidzhennia v ramkakh Derzhavnoi prohramy prohnazuvannia naukovy-tekhnolohichnoho ta innovatsiinoho rozvytku Ukrainy* [Methodical recommendations for forecasting and analytical research under the State program of forecasting scientific, technological and innovation development of Ukraine]. Kyiv: Feniks, 2004.

Nalimov, V. V., and Mulchenko, Z. M. *Naukometriia. Izucheniiia razvitiia nauki kak informatsionnogo protsessa* [Scientometrics. Study of the development of science as an information process]. Moscow: Nauka, 1969.

Orlov, A. I. *Prikladnaia statistika* [Applied Statistics]. Moscow: Ekzamen, 2006.

Postnikov, V. N. "Analiz podkhodov k formirovaniu sostava ekspertnoy grupy, orientirovannoy na podgotovku i priniatie resheniy" [Analysis approaches to the formation of an expert group focused on the preparation and decision-making]. *Nauka i obrazovanie*, no. 5 (2012): 333-346.

"Proekt Kontseptsii dolgosrochnogo prognoza nauchno-tekhnologicheskogo razvitiia Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda" [Draft Concept of long-term prognosis for Scientific and Technological Development of the Russian Federation for the period until 2025]. *Materialy rabochey grupy*, 2006.

Petrovskiy, A. B. *Teoriia priniatii resheniy* [Decision theory]. Moscow: Akademiia, 2009.

Pospelova, I. I., and Lotov, L. A. *Mnogokriterialnye zadachi priniatii resheniy* [Multicriteria decision making problems]. Moscow: MAKS Press, 2008.

Sheliubskaya, N. V. *Forsayt – mekhanizm opredeleniia prioritetov formirovaniia obshchestva znaniy stran Zapadnoy Evropy* [Foresight - a mechanism for determining priorities Knowledge Societies of Western Europe]. Kyiv: Feniks, 2007.

Skorniakov, E. P., Omarova, T. B., and V Chelysheva, O. *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniiu patentnykh issledovaniy* [Guidelines for conducting patent research]. Moscow: INITs Rospatenta, 2000.

Voverne, O. I. "Bibliometriia – strukturnaia chast metodologii informatiki potokov" [Bibliometrics - the structural part of the methodology of science streams]. *NTI. Seriya 1*, no. 7 (1985): 1-5.

Vishnevskiy, V., and Simonov, S. "Situatsionnyy tsentr kak instrument dlia provedeniia forsaytnykh issledovaniy" [Situation Center as a tool for foresight studies]. *Mezhdunarodnaia nauchno-tekhnicheskaya konferentsiia ITHA*. Kiev, 2010. 40-45.

"Zahalnoderzhavna referatyvna baza danykh «Ukrainika naukova»" [National abstracts database "Ukrainika science"]. http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=REF_EX&P21DBN=REF&S21CNR=20&Z21ID=