О. І. Решетняк,
к. е. н., доцент, докторант Науково-дослідного центру
індустріальних проблем розвитку НАН України
ORCID ID: 0000-0002-1183-302X

DOI: 10.32702/2306-6806.2020.1.107

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У СВІТІ

O. Reshetnyak,
PhD in Economics, Associate Professor, Research Centre for Industrial
Problems of Development of the National Academy of Sciences of Ukraine

PROSPECTIVE AREAS OF SCIENTIFIC RESEARCH IN THE WORLD

Метою цієї роботи є визначення перспективних напрямів наукових досліджень у світі на основі форсайт-методів. Методичною базою статті є: огляд літератури, аналіз загальних трендів світового розвитку та глобальних проблем людства, бібліометрика та патентний аналіз. У статті сформульовано загальний підхід до визначення перспективних напрямів наукових досліджень у світі. Досліджено форсайти країн ЄС, США, південної Кореї, Японії дозволило виділити найбільш ймовірні напрями майбутніх досліджень у світі, навести приклади напрямів наукового та технологічного розвитку за основними проблемами розвитку суспільства. Досліджено динаміку та структуру за тематичними напрямками публікаційної активності науковців світу на основі бази даних бібліометричних показників порталу SCImago Journal & Country Rank та опублікованих патентних заявок за даними Всесвітньої організації інтелектуальної власності (WIPO). Угрупування отриманих результатів дозволило визначити перспективні напрями наукових досліджень та окремих технологій. Отримані результати дослідження можуть виступати основою для визначення національних пріоритетів наукового розвитку країн світу, обумовлюючи тенденції розвитку сучасних технологій у майбутньому, в тому числі України.

The aim of the article is to study promising areas of scientific research in the world based on foresight methods. The relevance of this research is due to the variability of the modern world under the influence of the growing importance of innovative technologies for society based on scientific knowledge and modern scientific research. Ensuring the innovative competitiveness of the country in the global context is determined by their scientific and technological development, the nature of technologies used in industry, the level of innovation products. But the growth in the cost of scientific research and the introduction of technical developments forms the need for the introduction of systems for early detection of trends in scientific and technological development, assessment of risks and opportunities in the development of science and technology, which is provided through the use of foresight methodology. The methodological basis of the article is: literature review, analysis of general trends in world development and global problems of mankind, bibliometrics and patent analysis, which allowed to identify promising areas of research and development in the world. The result of the research is to identify promising areas of scientific research in the world based on the proposed methodological approach. The foresight of the EU countries, the USA, South Korea, Japan and other countries was studied, which allowed to identify the most probable areas of future research in the world. The analysis of bibliometric indicators and patent analysis made it possible to identify the most popular research directions among the world scientists. The grouping of the results made it possible to identify promising areas of research and provide recommendations on the development of individual technologies. The practical value of the article lies in the fact that the results of the research can serve as a basis for determining national priorities for scientific development of the countries of the world, which determines the trends in technology in the future. In particular, the conducted research will be useful for Ukraine in substantiating the priorities of scientific development and funding research projects.

Ключові слова: наукові дослідження, перспективні напрями, форсайт, науковий розвиток, бібліометрика, патентний аналіз.

Key words: scientific research, promising areas, foresight, scientific development, bibliometrics, patent analysis.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасний світ дуже швидко змінюється під впливом зростання важливості інноваційних технологій для суспільства, які базуються на наукових знаннях та сучасних наукових дослідженнях. Забезпечення інноваційної

конкурентоспроможності країни в глобальному контексті обумовлюється їх науково-технологічним розвитком, характером технологій, які використовуює промисловість, рівнем інноваційності продуктів. Але зростання вартості наукових досліджень та впровадження

Рис. 1. Загальний підхід до визначення перспективних напрямів науковий досліджень в світі

Джерело: власна розробка.

технічних розробок формує потребу у впровадженні систем раннього виявлення тенденцій науково-технологічного розвитку, оцінки ризиків та можливостей у розвитку науки та технологій. Інвестувати в усі можливі світові напрями науково-технологічного розвитку не може дозволити жодна країна. Тому значущість визначення та формування пріоритетних напрямів науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт (НДДКР) у майбутньому для ефективного інвестування у розвиток науки та нових технологій зростає не тільки для країн, які мають низький економічний потенціал, а й розвинутих країн світу, які мають значні витрати на дослідницьку діяльність.

Для визначення пріоритетів наукового розвитку необхідно мати актуальну інформацію про наукові та технологічні тренди [1], які формуються в сучасному світі для зіставлення їх з можливостями, які обмежує науковий потенціал відповідної країною. Це обумовлює потребу дослідницьких організації та виробничих підприємств у забезпеченні відповідного інструментарію, який визначає тенденції майбутнього розвитку передових технологій, що дозволить їм визначити тематику майбутніх досліджень та забезпечення випуску конкурентоспроможної інноваційної продукції. Методологія форсайту є сучасним ефективним інструментом, яка надає необхідну інформацію про майбутнє в науковому та технологічному розвитку.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Перші спроби форсайтів, спрямованих на визначення напрямків та тенденцій розвитку науки та технологій були здійснені наприкінці 1990-х років. З того часу методологія форсайт дослідження дістала свого розвитку. Важливість використання методології формайту для дослідження напрямків наукового та технологічного розвитку відмічається в роботах багатьох зарубіжних авторів, зокрема М. Кінаніма, Р. Поппером [2] та ін. Серед вітчизняних науковців визначенням напрямів соціально-економічного розвитку за методологією форсайту представлено в дослідженнях М. Згуровського [3], напрямків збалансованого розвитку економіки України в дослідження О. Жилінської [4], напрямків розвитку окремих технологій в роботах М. Кизима, І. Матюшенко [5], майбутнього вищої освіти в працях А. Шевченко [6] та ін. Але для обґрунтування можливих пріоритетів розвитку наукових досліджень країни необхідно дослідити, які загальні тренди розвитку суспільства та глобальні проблеми людства обумовлюють появу нових технологій та відповідні наукові дослідження, які напрями наукового та технологічного розвитку відзначаються в світових форсайт-дослідженнях. Але в існуючих працях вітчизняних та зарубіжних науковців вищезазначена проблематика висвітлюється лише фрагментарно, розглядаються окремі аспекти наукового розвитку, тому вивчення результатів світових форсайтів, які спрямовано на визначення майбутнього в науковій та технологічній сферах потребують спеціального розгляду.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є визначення перспективних напрямків наукових досліджень у світі на основі форсайт-методів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Визначення майбутнього соціально-економічного стану, сценаріїв розвитку суспільства, забезпечення конкурентоспроможності окремих країн на глобальному ринку, технологічні зміни, забезпечення сталого розвитку, обумовлюють також можливі тренди в дослідницької діяльності.

Аналіз літературних джерел визначає біля 30 методів форсайт-досліджень [7]. Серед найбільш популярних методів визначають методи: огляд літератури, аналіз загальних трендів світового розвитку та глобальних проблем людства, бібліометрика та патентний аналіз, що дозволило сформувати загальний підхід до визначення перспективних напрямків науковий досліджень у світі (рис. 1).

Проведене дослідження світових форсайтів, дозволило визначити загальні тренди розвитку суспільства [8—13], які обумовлюють науковий та технологічний розвиток та включають: реорганізацію економічних систем, інтенсифікацію соціальної складності, поглиблення екологічного ризику, інновації через гіперзв'язок, розширення прав і можливостей людини.

Також визначення напрямів розвитку науки в країнах світу залежить від глобальних проблем людства, наприклад сформульовані проблеми сталого розвитку [14—16] обумовлюють науковий пошук, спрямований на використання нових знань о навколишньому середовищі, появу нових технологій. Також інші проблеми соціальної, екологічної, ресурсної, економічної сфер формують тематику наукового та технологічного розвитку (табл. 1).

Дослідження в ході підготовки проекту "Сканування нових проблем науки і технологій" (SESTI) [11] стосувалися виявленню факторів (слабких сигналів), які могли б мати потенційний вплив на суспільство до 2030 р. Слабкі сигнали та виникаючі проблеми, які були визначені в рамках проекту SESTI, були розділені на три категорії: охорона здоров'я (старіння суспільства, зменшення тривалості життя, просування медичних технологій та нових лікарських засобів, диверсифікація в медицині, профілактика захворювань, персоналізація лікування), енергія (розвиток безпечних, економічно ефективних та екологічно чистих джерел енергії, гібридна ядерна енергетика, біопаливо, біомаса та біомімікрія, воднева енергетика, зменшення впливу енергетики на основі використання нафти та газу), пізнавальне зміцнення (розширення фізичних чи когнітивних здібностей людей, який може бути тимчасовим (наприклад, з використанням фармацевтичних препаратів) або постійним (наприклад, хірургічним шляхом, імплантатами), а також може бути застосовується як терапевтичний захід (для усунення дефіциту можливостей розуму), або як поліпшення розумових можливостей, розширення внутрішніх чи зовнішніх систем обробки інформації).

На визначення майбутніх трендів у науковому розвитку впливає інтенсивність сучасного впровадження нових технологій. Наприклад, цифрові технології швидко міняють суспільство, вносять значний внесок у досягнення цілей сталого розвитку, створюють нові можливості для появи інноваційних технологій та продуктів, змінюють існуючі технології та продукти, створюють нові та модернізують традиційні знання. Цифровізація економіки є одним із пріоритетних напрямків науково-

Таблиця 1. Приклади напрямів наукового та технологічного розвитку за основними проблемами

Основна проблема	Приклад напрямів наукового та технологічного розвитку
Соціально-економічні проблеми	
Зростання соціального інтересу до інфраструктури безпеки	Створення національної мережі протидії катастрофам на основі супутникового зв'язку
Безпека харчових продуктів	Система відстеження їжі через RFID-підключення смартфонів
Проблеми охорони здоров'я	Технології визначення патогенних мікроорганізмів та технології розрізнення вірусів, розробка вакцин, розробка високоефективного медичного обладнання
Проблеми підвищення якості домашнього обслуговування	Роботизація: послуги особистого помічника, прибиральника, секретаря, забезпечення догляду за дітьми та ін.
Недостатня кількість харчових продуктів	Розробка нових сортів рослин, стійких до тепла та технології виготовлення харчових продуктів з використанням істотних комах
Реформа в системі освіти	Вдосконалення он-лайн освіти за допомогою передових технологій віртуальної реальності
Розширення бізнесу, орієнтованого на людей похилого віку	Система управління несподіваними ситуаціями для людей похилого віку
Екологічні проблеми	
Зміна екосистеми через зміни клімату	Технологія реагування на пошкодження комах
Перехід до екологічно чистих засобів виробництва	Підвищення ефективності акумуляторів електричного транспорту
Проблеми ресурсного забезпечення	
Недостатня кількість ресурсів	Розвиток заміної матеріальної технології для рідкісних ресурсів, таких як рідкісні землі
Пошук нових, нетрадиційних ресурсів	Розробка нетрадиційних технологій розвідки та видобутку палива, наноматеріали
Проблеми інформаційного забезпечення	
Використання нейроінформації	Завершення діаграми мозкової карти
Інтелектуальна комунікація між пристроями	Технологія самодіагностики для розумних пристроїв
Розширення віртуального космічного зв'язку між особами	Розробка різноманітних нових сервісів для соціальних мереж
Швидке розповсюдження даних та масове поширення інформації	Доступна технологія сортування даних для дискримінації помилкової інформації
Проблеми забезпечення безпеки	
Зміни у військовому полі, наприклад, безпілотні війська	Розробка алгоритму AI для військового використання
ІТ-злочинність	Вдосконалення антитерористичної технології та системи
Проблеми транспортування	
Проблеми гіпершвидкісних перевезень	Забезпечення безпеки користувачів гіпершвидкісної транспортної системи
Проблеми безпілотного транспортування	Система сигналізації та централізована система управління безпілотними транспортними засобами
Проблеми в сфері виробництва	
Перехід від традиційного виробництва	Вдосконалення технології 3D-принтера (переробка, екологічність, довговічність тощо)
Прискорення конвергенції	Сприяння спільним дослідженням NBIT

Джерело: сформовано на підставі [14–16].

го розвитку для більшості країн — економічних лідерів, як-от: США, Китай, Німеччина, Великобританія, Японія та ін. [17]

Звіт про передбачення, опублікований Європейською Комісією (ЄК) [9], визначає 100 радикальних проривів інновацій, які з достатньо високою ймовірністю, матимуть значний вплив на глобальну економіку. Одним з ключових напрямів, як визначають експерти ЄС, стане розвиток штучного інтелекту та пов'язані з цим технології. Також ЄК очікує, що до 2038 р. набудуть поширення такі технології, як біопластика, блокчейн, екзоскелети, редагування генів та нейроморфні чіпи. В звіті також розглянуто 45 технологій, які наразі знаходяться на низькому рівні зрілості, але, як очікується, знайдуть ринкове застосування в найближчі 20 років, а саме: датчики, що біологічно розкладаються; бойові безпілотники; 4D друк та ін.

Національний інститут науки та технологічної політики (National Institute of Science and Technology Policy — NISTEP) — один з провідних експертів із передбачення та дослідження наукового розвитку в Японії та світі [17] відмічає наступні напрями, як перспективи наукового та технологічного розвитку: нові енергетичні технології, біотехнології та сучасні аграрні технології, інформаційно-комунікаційні технології нового покоління хмарні технології, науки про життя, робототехніка, штучний інтелект, нанотехнології та нові речовини й матеріали, новітні промислові технології технологій, харчова промисловість на основі новітніх технологій, безпілотні транспортні засоби, рециркуляційні технології, технології поширення знань, соціокультурні технології.

Аналогічні тренди наукового розвитку відмічаються дослідниками Інституту критичних технологій та прикладних наук (науково-дослідний інститутів Virginia Tech, США), Wageningen UR (університет Нідерландів), Міжнародної наукової ради (International Science Council, ISC), UNIDO, University of Oxford.

Згідно з дослідженнями "Глобальна технологічна Революція 2020 року" [8] визначено як перспективні наукові напрями такі: недорога сонячна енергія, сільський бездротовий зв'язок, генетично модифіковані культури (GM), експрес-біологічне тестування біологічних речовин, фільтри та каталізатори, цільова доставка лікарських засобів, недороге автономне житло, зелене виробництво, повсюдна радіочастотна ідентифікація (RFID), гібридні транспортні засоби, поширені датчики, тканинна інженерія, покращені діагностичні та хірургічні методи, вбудовані комп'ютери, квантова криптографія.

Національна рада розвідки (США) [18] визначає як глобальні тенденції до 2030 року науковий розвиток за такими технологіями: біоенергетика, сонячна енергія, технології GM-культури, точне землеробство, великі дані, соціальні мережі, розумне місто, виробництво добавок/ 3D друк, роботизація, штучний інтелект, віддалені і автономні транспортні засоби, управління водою.

Міністерство науки і ІКТ та Корейський Інститут оцінки і планування S&T (KISTEP) [19] визначають такі напрями наукового розвитку до 2040 р: технології побудови сітки розумної енергії, штучний фотосинтез, розумна ферма, занурювальна віртуальна, розширена реальність, інтерфейс мозку та комп'ютера, індивідуаль-

Таблиця 2. Найбільш ймовірні напрями наукових досліджень

Напрями наукового розвитку	Кількість згадувань напряму з 31 форсайтів, од
Робототехніка, штучний інтелект	30
Біотехнології та сучасні аграрні технології	27
Інформаційно-комунікаційні технології нового покоління, хмарні технології	26
Нові енергетичні технології	24
Науки про життя, технології охорони здоров'я	24
Транспортні та логістичні технології	20
Новітні промислові технології	19
Нанотехнології та нові речовини й матеріали	18
Рециркуляційні технології	15
Соціокультурні технології	12
Радіoeлектроніка нового покоління	11
Технології поширення знань	11
Аерокосмічні технології	10
Інші технології	3

Джерело: сформовано на підставі власного дослідження.

не медичне обслуговування на основі великих даних, генетична терапія, стовбурові клітини, штучні органи, розумний робот, квантові обчислення, розумні заводи та фабрики, технології будівництва пілотованого місяця та бази на Марсі, технології забезпечення безпеки, без-

пilotні транспортні засоби, супершвидкісний потяг, технології зменшення впливу на навколишнє середовище, технології зменшення кліматичних ушкоджень.

Форсайт-дослідження вчених Університету Вашингтону [18] визначає такі напрями перспективних науко-

Таблиця 3. Динаміка та структура кількості публікацій за науковими напрямками

Науковий напрям	2013 р.					2018 р.					Темп зростання кількості публікацій за період 2013-2018 рр., %
	Всього	Україна	США	Європа	Азія	Всього	Україна	США	Європа	Азія	
Усі предметні області	3340159	100	США	665898	19,94	3946933	100	США	17,3	118,17	102,57
Медицина	966136	28,92	США	225396	23,33	1158300	29,35	США	21,52	119,89	110,6
Техніка	627977	18,8	Китай	177909	28,33	780768	19,78	Китай	24,11	124,33	105,81
Комп'ютерні науки	379427	11,36	Китай	64802	17,08	527567	13,37	Китай	19,55	139,04	159,13
Фізика та астрономія	414802	12,42	Китай	67473	16,27	509635	12,91	Китай	19,08	122,86	144,15
Біохімія, генетика та молекулярна біологія	418104	12,52	США	94941	22,71	472749	11,98	США	19	113,07	94,59
Матеріалознавство	306673	9,18	Китай	67689	22,07	439757	11,14	Китай	26,44	143,4	171,79
Хімія	270518	8,1	Китай	53500	19,78	340682	8,63	Китай	25,22	125,94	160,63
Сільськогосподарські та біологічні науки	281392	8,42	США	48880	17,37	322632	8,17	США	14,84	114,66	97,95
Соціальні науки	215467	6,45	США	60042	27,87	322043	8,16	США	23,36	149,46	125,32
Математика	224444	6,72	Китай	37222	16,58	319055	8,08	Китай	19,86	142,15	170,23
Екологія	167255	5,01	США	29830	17,84	271080	6,87	Китай	17,86	162,08	162,34
Земні та планетарні науки	168619	5,05	США	31142	18,47	217926	5,52	Китай	17,88	129,24	125,14
Хімічне машинобудування	138336	4,14	Китай	29466	21,3	194258	4,92	Китай	26,06	140,42	171,82
Енергія	100146	3	Китай	21637	21,61	177963	4,51	Китай	23,44	177,7	192,77
Мистецтво та гуманітарні науки	96491	2,89	США	26074	27,02	124638	3,16	США	24,45	129,17	116,88
Фармакологія, токсикологія та фармацевтика	102937	3,08	США	19777	19,21	124383	3,15	Китай	17,04	120,83	107,18
Імунологія та мікробіологія	98584	2,95	США	20885	21,18	118077	2,99	США	18,73	119,77	105,9
Неврознавство	85294	2,55	США	23436	27,48	110781	2,81	США	24,94	129,88	117,89
Бізнес, управління та бухгалтерський облік	62150	1,86	США	15136	24,35	99886	2,53	США	17,61	160,72	116,19
Психологія	68034	2,04	США	23661	34,78	95296	2,41	США	31,88	140,07	128,41
Науки про рішення	32229	0,96	США	6149	19,08	73241	1,86	Китай	15,58	227,25	185,62
Економіка, економетрика та фінанси	47287	1,42	США	10830	22,9	65740	1,67	США	19,51	139,02	118,45
Сестринство	49317	1,48	США	15696	31,83	61671	1,56	США	27,28	125,05	107,17
Професії охорони здоров'я	45144	1,35	США	12855	28,48	58881	1,49	США	25,39	130,43	116,29
Мультидисциплінарні науки	36986	1,11	США	7195	19,45	58094	1,47	США	18,85	157,07	152,2
Ветеринарія	28046	0,84	США	4524	16,13	28915	0,73	США	16,13	103,1	103,12
Стоматологія	17252	0,52	США	2909	16,86	21074	0,53	США	14,49	122,15	104,95

Джерело: розраховано на підставі [20].

вих досліджень до 2050 р.: редагування генів, альтернативні джерела білка, м'ясо *In vitro*, точне сільське господарство, великі дані, інформаційні та комунікаційні технології, штучний інтелект, обчислювальна творчість, штучний синапс / мозок, мозкове функціональне відображення, обчислювальна пам'ять, нейроморфний чіп, чатботи, розпізнавання мови, розпізнавання емоцій, розмитнення безконтактного жесту, гуманоїди, якість та безпечність харчових продуктів, роботизація сільського господарства, авто без водія, літаючі автомобілі.

Саме розвиток наведених вище технологій формують напрями наукових досліджень та обумовлюють інвестиції в НДДКР. Дослідження 31 форсайтів, які було проведено країнами ЄС, США, південної Кореї, Японії щодо визначення тенденцій наукового розвитку дозволило виділити найбільш ймовірні напрями майбутніх досліджень у світі (табл. 2).

Таким чином, найбільш перспективними напрямками наукового розвитку є робототехніка, штучний інтелект (30 згадувань), біотехнології та сучасні аграрні технології (27), інформаційно-комунікаційні технології нового покоління хмарні технології (26), нові енергетичні технології (24), науки про життя, технології охорони здоров'я (24), транспортні та логістичні технології (20), новітні промислові технології (19), нанотехнології та нові речовини й матеріали (18).

Важливим аспектом визначення перспектив розвитку наукових досліджень у світі є методи кількісного дослідження документальних інформаційних потоків та патентних заявок.

Дослідження публікаційної активності науковців країн світу на основі бази даних бібліометричних показників порталу SCImago Journal & Country Rank проекту візуалізації інформації, метою якого є розкриття структури наукових досліджень — "Форма науки" (Shape of Science) [20] дозволило визначити найбільш популярні напрями наукових досліджень (табл. 3).

Загальна кількість наукових публікацій в 2018 р. у порівнянні з 2013 р. збільшилася на 18,17 %. У відповідності до проведеного дослідження структури наукових публікацій в 2013 р. найбільша частка статей в БД порталу SCImago Journal відноситься до медичних наук (28,92 %), найбільша кількість публікацій була опублікована науковцями США (23,33 % від загальної кількості публікацій за цим напрямком). У 2019 р. частка наукових публікацій за напрямом медичні науки збільшилася до 29,35 %, лідером в публікаційної активності залишається США (21,52 % від загальної кількості публікацій за напрямом), але загальне збільшення кількості публікацій за період 2013—2018 рр. дорівнює 19,89 %, тоді як лідер збільшив кількість своїх публікацій в 2018 р. відносно 2013 р. лише на 10,6 %. Другим за популярністю напрямом наукових досліджень є техніка, частка публікацій в 2013 р. за цією тематикою дорівнювала 18,8 %, а в 2018 р. — 19,78 %. Лідером за кількістю публікацій за цим напрямом є Китай (в 2013 р. частка країни в загальній кількості публікацій дорівнювала 28,33 %, а в 2018 р. — 24,11 %). Загальне збільшення публікаційної активності науковців за напрямом техніка в 2018 р. у порівнянні з 2013 р. складає 24,33 %, тоді як лідер збільшив кількість публікацій лише на 5,81 %. Напрямок — біохімія, генетика та молекулярна біологія: в структурі публікацій 2013 р. — 12,52 %, а в 2018 р. — зниження до 11,98 %; лідер публікаційної активності напрямку — США (22,71 % в 2013 р. та 19 % в 2018 р. від загальної кількості публікацій напрямку); загальне підвищення кількості публікацій в 2018 р. у порівнянні з 2013 р. — на 13,07 %. Напрямок — комп'ютерні науки: в структурі публікацій 2013 р. — 11,36 %, а в 2018 р. — збільшився до 13,37 %; лідер публікаційної активності напрямку — Китай (17,08 % в 2013 р. та 19,5 % в 2018 р.); загальне підвищення кількості публікацій в 2018 р. у порівнянні з 2013 р. — в 1,27 разів. Напрямок — фізика та астрономія: в струк-

турі публікацій 2013 р. — 12,42 %, а в 2018 р. — 12,91 %; лідер публікаційної активності напрямку — Китай; загальне підвищення кількості публікацій в 2018 р. у порівнянні з 2013 р. — на 22,86 %. Суттєво за період 2013—2018 рр. збільшуються публікації за напрямом матеріалознавство — на 43,4 % в загальній кількості публікацій світу та на 71,79 % у країни-лідера — Китаю. В структурі публікацій 2013 р. матеріалознавство мало 9,18 %, а в 2018 р. — 11,14 %.

З метою уникнення нестійких результатів в якості кількісного підходу для аналізу розвитку технологій використовують патентний аналіз. За даними Всесвітньої організації інтелектуальної власності [21] в 2018 р. загальна кількість поданих заявок на патенти у сукупності за всіма напрямками становила близько 3142681 од., що на 44,24 % більше ніж в 2013 р. Лідерами серед опублікованих заявок на патенти у 2018 р. були наступні наукові області (табл. 4): комп'ютерні технології (7,39 %); електричні машини, апарати, енергія (6,79 %); вимірювання (5,15 %); цифровий зв'язок (4,61 %); медичні технології (4,57 %); транспорт (4,43 %). Якщо в 2013 р. за напрямками медичних та комп'ютерних технологій лідерами за кількістю опублікованих заявок на патенти були США, то в 2018 р. за всіма напрямками лідерство належить Китаю.

Необхідно відзначити, що за майже за всіма науковими напрямками кількість опублікованих заявок на патенти в 2018 р. у порівнянні з 2013 р. спостерігається суттєве зростання (крім напрямів напівпровідники та основні комунікаційні процеси, де спостерігається незначний спад близько 3 % та інші технології — спад близько 15 %): хімічна інженерія — зростання в 2,1 разів, інші спеціальні машини — зростання в 2,04 разів, контроль — зростання в 2,02 разів, екологічна технологія — в 1,95 разів, верстати — в 1,88 разів, поводження — в 1,83 рази, IT-методи управління — в 1,76 разів. У країни-лідера за кількістю заявок на патенти за деякими напрямками спостерігається зростання понад в 3 рази: інші спеціальні машини; поводження; меблі, ігри; контроль; екологічні технології.

Підводячи підсумок, визначено такі перспективні напрями наукових досліджень та окремих технологій:

1. Науки про життя, охорона здоров'я, в тому числі: редагування генів, стовбурові клітини, покращені діагностичні та хірургічні методи, цільова доставка лікарських засобів, телемедицина, розширення фізичних чи когнітивних здібностей людей, індивідуальне медичне обслуговування на основі великих даних.

2. Техніка (промислові технології), в тому числі: новітні промислові технології технологій, зелене виробництво, дистанційний контроль, промисловий контроль, енергетичне обладнання для НДЄ, 3D друк, роботизація, розумне місто.

3. Комп'ютерні науки, в тому числі: робототехніка, штучний інтелект, інформаційно-комунікаційні технології, хмарні технології, великі дані, обчислювальна творчість, штучний синапс / мозок, мозкове функціональне відображення, штучні органи, занурювальна віртуальна, розширена реальність, розумний робот, квантові обчислення, мозкове функціональне відображення, обчислювальна пам'ять, нейроморфний чіп, чатботи, розпізнавання мови, розпізнавання емоцій, розмитнення безконтактного жесту, вбудовані комп'ютери, екзоскелети.

4. Фізика та астрономія, в тому числі: технології будівництва пілотованої луни та бази на Марсі.

5. Біохімія, генетика та молекулярна біологія, в тому числі: генетична терапія, біологічно імітуючі імплантати, генетична інженерія з покращеною харчовою цінністю, генетично модифіковані культури, експрес-біологічне тестування біологічних речовин, фільтри та каталізatori,

6. Транспорт та логістика, в тому числі: літаючі автомобілі, безпілотні транспортні засоби, супершвидкісний потяг, гібридні транспортні засоби.

Таблиця 4. Динаміка та структура кількості опублікованих заявок на патенти за науковими напрямками

Науковий напрям	2013 р.					2018 р.					Темпи зростання кількості патентів за період 2013-2018 рр.	
	Загальна кількість патентів, од.	Частка від патентів світу, %	Країна лідер	Кількість патентів у країні лідеру, од.	Частка лідеру в патентах світу, %	Загальна кількість патентів, од.	Частка від патентів світу, %	Країна лідер	Кількість патентів у країні лідеру, од.	Частка лідеру в патентах світу, %	У світі, %	У країні-лідері
Комп'ютерна техніка	167389	7,68	США	55598	33,21	232277	7,39	Китай	109298	47,06	138,76	196,59
Електричні машини, апарати, енергетика	161756	7,42	Китай	47539	29,39	213436	6,79	Китай	107078	50,17	131,95	225,24
Вимірювання	104029	4,77	Китай	39327	37,80	161980	5,15	Китай	92943	57,38	155,71	236,33
Цифровий зв'язок	101014	4,64	Китай	30731	30,42	144994	4,61	Китай	55466	38,25	143,54	180,49
Медичні технології	94399	4,33	США	21974	23,28	143659	4,57	Китай	52765	36,73	152,18	240,12
Транспорт	89461	4,11	Китай	19678	22,00	139074	4,43	Китай	55579	39,96	155,46	282,44
Інші спеціальні машини	66507	3,05	Китай	24270	36,49	136145	4,33	Китай	85683	62,94	204,71	353,04
Цивільне будівництво	73951	3,39	Китай	23792	32,17	120089	3,82	Китай	69434	57,82	162,39	291,84
Верстати	61247	2,81	Китай	27430	44,79	115045	3,66	Китай	83745	72,79	187,84	305,30
Хімічна інженерія	48963	2,25	Китай	17931	36,62	103160	3,28	Китай	71858	69,66	210,69	400,75
Поводження	55850	2,56	Китай	17337	31,04	102164	3,25	Китай	59940	58,67	182,93	345,73
Фармацевтичні препарати	80214	3,68	Китай	25611	31,93	97776	3,11	Китай	39299	40,19	121,89	153,45
Хімія основних матеріалів	60815	2,79	Китай	24456	40,21	90466	2,88	Китай	55645	61,51	148,76	227,53
Меблі, ігри	52415	2,41	Китай	12128	23,14	87614	2,79	Китай	41777	47,68	167,15	344,47
Напівпровідники	87052	4,00	США	19362	22,24	84439	2,69	Китай	25450	30,14	97,00	131,44
Аудіовізуальна технологія	77069	3,54	США	19093	24,77	83746	2,66	Китай	33184	39,62	108,66	173,80
Механічні елементи	59102	2,71	Китай	17486	29,59	82956	2,64	Китай	37374	45,05	140,36	213,74
Матеріали, металургія	52792	2,42	Китай	24555	46,51	78589	2,50	Китай	51194	65,14	148,87	208,49
Контроль	37313	1,71	Китай	13368	35,83	75571	2,40	Китай	42470	56,20	202,53	317,70
Оптика	65896	3,02	Китай	12308	18,68	72097	2,29	Китай	22199	30,79	109,41	180,36
Харчова хімія	41710	1,91	Китай	22443	53,81	68826	2,19	Китай	49949	72,57	165,01	222,56
Екологічна технологія	33991	1,56	Китай	13112	38,57	66129	2,10	Китай	46654	70,55	194,55	355,81
Органічна образотворча хімія	55830	2,56	Китай	16192	29,00	64943	2,07	Китай	28306	43,59	116,32	174,81
Двигуни, насоси, турбіни	62426	2,87	Китай	14337	22,97	64680	2,06	Китай	23314	36,05	103,61	162,61
Інші товари народного споживання	41197	1,89	Китай	12451	30,22	62813	2,00	Китай	29672	47,24	152,47	238,31
Біотехнологія	45871	2,11	Китай	11825	25,78	62773	2,00	Китай	23165	36,90	136,85	195,90
ІТ-методи управління	34309	1,57	США	11592	33,79	60395	1,92	Китай	29813	49,36	176,03	257,19
Телекомунікації	51781	2,38	Китай	12084	23,34	57478	1,83	Китай	23236	40,43	111,00	192,29
Теплові процеси та апарати	36313	1,67	Китай	12030	33,13	54103	1,72	Китай	31746	58,68	148,99	263,89
Макромолекулярна хімія, полімери	37204	1,71	Китай	13620	36,61	53015	1,69	Китай	28238	53,26	142,50	207,33
Поверхнева технологія, покриття	39183	1,80	Китай	12234	31,22	48832	1,55	Китай	23761	48,66	124,63	194,22
Машини текстильні та паперові	35930	1,65	Китай	12932	35,99	48832	1,55	Китай	27141	55,58	135,91	209,87
Інші технології	31667	1,45	США	494	1,56	24351	0,77	Китай	549	2,25	76,90	111,13
Аналіз біологічних матеріалів	13095	0,60	Китай	2721	20,78	18729	0,60	Китай	7590	40,53	143,02	278,94
Основні комунікаційні процеси	16489	0,76	США	5058	30,67	16040	0,51	Китай	4961	30,93	97,28	98,08
Мікроструктура та нанотехнологія	4532	0,21	Китай	1485	32,77	5465	0,17	Китай	3048	55,77	120,59	205,25

Джерело: розраховано на підставі [21].

7. Матеріалознавство, в тому числі: нанотехнології та нові речовини й матеріали, нановимірювання та аналізування, композиційні матеріали, тканинна інженерія

8. Сільськогосподарські та біологічні науки, в тому числі: м'ясо In vitro, альтернативні джерела білка, точне сільське господарство, роботизація сільського господарства

9. Екологія, в тому числі: рециркуляційні технології, недорога сонячна енергія (системи сонячної енергії), управління водою, технології зменшення впливу на навколишнє середовища.

Таким чином, міжнародні форсайт-дослідження можуть виступати основою для визначення національних пріоритетів наукового розвитку різних країн світу, обумовлюючи тенденції розвитку сучасних технологій у майбутньому. Україна має деякий опит проведення форсат-досліджень та визначення критичних технологій та пріоритетних напрямів науково-технічного розвитку на основі довгострокового передбачення. Прикладом таких досліджень стала "Державна програма прогнозування науково-технологічного та інформаційно-технологічного розвитку на 2004—2006 рр.". Але з ча-

сом використання методології форсайту для визначення пріоритетів наукових досліджень у країні були замінені маркетинговим підходом, який значно звузив сфери застосування результатів прогнозу. Лише в 2015 р. група експертів НТУУ "КПІ" на основі методології форсайт здійснила спробу передбачення соціально-економічного стану України в середньостроковому та довгостроковому часовому горизонті, який також розглядав перспективи розвитку окремих економічних сфер та використання технологій в країні [3]. Але проведені дослідження не обґрунтовують пріоритети науково-технологічного розвитку, не визначають напрями дослідження перспективних технологій, критичних технологій. Це обумовлює необхідність дослідження українського наукового потенціалу та обґрунтування можливих напрямів розвитку науки та технологій, в яких вітчизняні дослідники могли бути конкурентоспроможними на міжнародному ринку досліджень та розробок.

ВИСНОВКИ

Таким чином, у результаті проведеного дослідження можна відзначити таке:

1. Визначення пріоритетів наукового розвитку потребує актуальну інформацію о наукових та технологічних трендах, які можливо дослідити за методологією форсайт. У роботі сформовано загальний підхід до визначення перспективних напрямків наукових досліджень у світі з використанням методів: огляд літератури, аналіз загальних трендів світового розвитку та глобальних проблем людства, бібліометрика та патентний аналіз.

2. Сформовано приклади напрямів наукового та технологічного розвитку за основними проблемами розвитку суспільства, слабких сигналів та виникаючих проблем.

3. Дослідження 31 форсайтів, які було проведено країнами ЄС, США, Південної Кореї, Японії дозволило виділити найбільш ймовірні напрямки майбутніх досліджень у світі: робототехніка, штучний інтелект, біотехнології та сучасні аграрні технології, інформаційно-комунікаційні технології нового покоління хмарні технології, нові енергетичні технології, науки про життя, технології охорони здоров'я, транспортні та логістичні технології, новітні промислові технології, нанотехнології та нові речовини й матеріали.

4. Дослідження кількості публікаційної активності науковців світу на основі бази даних бібліометричних показників порталу SCImago Journal & Country Rank дозволило визначити основні науковими тематики: медицина, техніка, комп'ютерні науки, фізика та астрономія, біохімія, генетика та молекулярна біологія, матеріалознавство.

5. Дослідження за даними Всесвітньої організації інтелектуальної власності (WIPO) дозволило визначити, що лідерами серед опублікованих заявок на патенти у 2018 р. були такі наукові області: комп'ютерні технології; електричні машини, апарати, енергія; вимірювання; цифровий зв'язок; медичні технології; транспорт.

7. Угрупування отриманих результатів дозволило визначити перспективні напрямки наукових досліджень та окремих технологій, які можуть виступати основою для визначення національних пріоритетів наукового розвитку країн світу, обумовлюючи тенденції розвитку сучасних технологій у майбутньому, в тому числі України.

Література:

1. Хаустова В.Є., Решетняк О.І. Дослідження стану та тенденцій розвитку науки в країнах світу та України. Проблеми економіки. 2019. № 3. С. 11—22. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-3-11-22> (дата звернення 14.01.2020)

2. Popper R., Georghiou L., Miles I. and Keenan M. Evaluating Foresight: Fully-Fledged Evaluation of the Colombian Technology Foresight Programme (CTFP), Cali: Universidad del Valle. 2010. URL: <http://community.iknow-futures.eu/pg/file/popper/view/2204/evaluating-foresight-fullyfledged-evaluation-of-ctfp> (дата звернення 14.01.2020).

3. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015—2020 роки) і довгостроковий (2020—2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М.З. Згуровський. Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. Київ. НТУУ "КПІ". 2015. 136 с.

4. Жилінська О. Україна 2030: Доктрина збалансованого розвитку. Видання друге. Львів: Кальварія, 2017. 164 с.

5. Кизим М.О., Матюшенко І.Ю., Шостак І.В., Давнова М.О. Форсайт-прогнозування пріоритетних напрямів розвитку нанотехнологій і наноматеріалів у країнах світу й Україні: монографія. Х.: ВД "ИНЖЕК". 2015. 272 с.

6. Шевченко Л. Форсайт вищої освіти: актуальність для України. URL: http://dSPACE.nlu.edu.ua/bitstream/123456789/5883/1/Shevchenko_21-27.pdf (дата звернення 14.01.2020).

7. Решетняк О.І. Форсайт-методи в управлінні науково-технологічним розвитком. Ефективна економіка. 2019. № 12. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7492>. DOI: 10.32702/2307-2105-2019.12.67 (дата звернення 14.01.2020).

8. Silbergliitt R. The Global technology revolution 2020, executive summary: bio/nano/materials/information trends, drivers, barriers, and social implications /. URL: https://www.researchgate.net/publication/323657472_The_Global_Technology_Revolution_2020_Executive_Summary_BioNanoMaterialsInformation_Trends_Drivers_Barriers_and_Social_Implications (дата звернення 14.01.2020).

9. Scientific and technological foresight from society to research. National Research Council of Italy, 2018. URL: <http://www.foresight.cnr.it/reports> (дата звернення 14.01.2020).

10. Global Trends 2030: Alternative Worlds, National Intelligence Council, United States (2013). URL: <https://globaltrends2030.files.wordpress.com/2012/11/global-trends-2030-november2012.pdf> (дата звернення 14.01.2020).

11. Gesellschaft F., Daimler S. VERA — Forward Visions on the European Research Area. ISI, European Commission. 2014. URL: <http://www.foresight-platform.eu/wp-content/uploads/2013/02/EFP-Brief-No-251-VERA.pdf> (дата звернення 14.01.2020).

12. Assessment of Global Megatrends The European Environment — State and Outlook 2050. European Environment Agency. URL: http://www.foresight-platform.eu/wp-content/uploads/2012/11/EFP-Brief-No.-227_Assessment-of-Global-Megatrends.pdf (дата звернення 14.01.2020).

13. Transforming our world: the 2030. Agenda for sustainable development. united nations. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/212520-30%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> (дата звернення 14.01.2020).

14. Human Development Report 2019. Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in Human Development in the 21st Century. United Nations Development Programme URL: http://report.hdr.undp.org/?utm_source=web&utm_medium=homepage&utm_campaign=hdr19 (дата звернення 14.01.2020).

15. UNCTAD. Digital Economy Report. Value creation and capture: implications for developing countries. 2019. URL: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/der2019_en.pdf (дата звернення 14.01.2020).

16. Visions, scenarios and future pathways towards sustainable development. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/4239Chapter%204%20Visions,%20scenarios%20and%20future%20pathways%20towards%20sustainable%20development2.pdf> (дата звернення 14.01.2020).

17. Japan 2035: Leading the World through Health, Ministry of Health, Labor & Welfare, Japan (2015). URL: <https://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/hokabunya/shakaihoshou/hokeniryou2035/future/en/> (дата звернення 14.01.2020).

18. Foresight & CGIAR. University of Washington URL: https://ispc.cgiar.org/sites/default/files/pdf/ispc_fore-sightcgiar_workshop_report_0.pdf (дата звернення 14.01.2020).

19. The 5th Science and Technology Foresight (2016—2040) Discovering Future Technologies to Solve Major Issues of Future Society Republic of Korea April 2017 URL: https://www.nistep.go.jp/HP_E/researchworks/02_fore-sight/index.html (дата звернення 14.01.2020).

20. SCImago Journal & Country Rank URL: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php?year=2018> (дата звернення 14.01.2020).

21. World Intellectual Property Organization WIPO URL: <https://www3.wipo.int/ipstats/index.htm?tab=patent> (дата звернення 14.01.2020).

References:

1. Khaustova, V. YE. and Reshetnyak, O. I. (2019), "Basic tendencies and problems of development of science in Ukraine", *Problemy ekonomiky*. vol. 2. pp. 62–72, available at: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2019-2-62-72> (Accessed 19 Jan 2020).
2. Popper, R. Georgiou, L. Miles, I. and Keenan, M. (2010), "Evaluating Foresight: Fully-Fledged Evaluation of the Colombian Technology Foresight Programme (CTFP)", Cali: Universidad del Valle, available at: <http://community.iknowfutures.eu/pg/file/popper/view/2204/evaluating-foresight-fullyfledged-evaluation-of-ctfp> (Accessed 19 Jan 2020).
3. NTU KPI (2015), *Forsayt ekonomiky Ukrainy: seredn'ostrokovy (2015–2020 roky) i dovhostrokovy (2020–2030 roky) chasovi horizonty* [Foresight of the Ukrainian economy: medium-term (2015–2020) and long-term (2020–2030) time horizons], Mizhnarodna rada z nauky (ICSU); Komitet iz systemnoho analizu pry Prezydiyi NAN Ukrainy; Natsional'nyy tekhnichnyy universytet Ukrainy "Kyiv's'kyi politekhnichnyy instytut"; Instytut prykladnoho systemnoho analizu NAN Ukrainy i MON Ukrainy; Svitovyy tsentr danykh z heoinformatyky ta staloho rozvytku. NTUU "KPI", Kyiv, Ukraine.
4. Zhylyns'ka, O. (2017), *Ukrayina 2030: Doktryna zbalansovanoho rozvytku* [Ukraine 2030: The Doctrine of Balanced Development.], Calvary, Lviv, Ukraine.
5. Kyzym, M. O. Matyushenko, I. Yu. Shostak, I. V. and Danova, M. O. (2015), *Forsayt-prohnozuvannya priorytetnykh napryamiv rozvytku nanotekhnolohiy i nanomaterialiv u krayinakh svitu y Ukraini* [Foresight — forecasting of priority directions of nanotechnology and nanomaterials development in countries of the world and Ukraine], VD "INZHEK", Kharkiv, Ukraine.
6. Shevchenko, L. (2017), "Foresight of higher education: relevance for Ukraine", available at: http://dspace.nlu.edu.ua/bitstream/123456789/5883/1/Shevchenko_21-27.pdf (Accessed 19 Jan 2020).
7. Reshetnyak, O. I. (2019), "Foresight methods in the management of scientific and technological development", *Efektivna ekonomika*, [Online], vol. 12, available at: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7492> (Accessed 19 Jan 2020). DOI: 10.32702/2307-2105-2019.12.67
8. Silbergliitt, R. (2016), "The Global technology revolution 2020, executive summary: bio/nano/materials/information trends, drivers, barriers, and social implications", available at: https://www.researchgate.net/publication/323657472_The_Global_Technology_Revolution_2020_Executive_Summary_BioNanoMaterialsInformation_Trends_Drivers_Barriers_and_Social_Implications (Accessed 19 Jan 2020).
9. National Research Council (2018), "Scientific and technological foresight from society to research", available at: <http://www.foresight.cnr.it/reports> (Accessed 19 Jan 2020).
10. National Intelligence Council (2013), "Global Trends 2030: Alternative Worlds", available at: <https://global-trends2030.files.wordpress.com/2012/11/global-trends-2030-november2012.pdf> (Accessed 19 Jan 2020).
11. Gesellschaft, F. and Daimer, S. (2014), "VERA — Forward Visions on the European Research Area", available at: <http://www.foresight-platform.eu/wp-content/uploads/2013/02/EFP-Brief-No-251-VERA.pdf> (Accessed 19 Jan 2020).
12. European Environment Agency (2012), "Assessment of Global Megatrends. The European Environment — State and Outlook 2050", available at: http://www.foresight-platform.eu/wp-content/uploads/2012/11/EFP-Brief-No.-227_Assessment-of-Global-Megatrends.pdf (Accessed 19 Jan 2020).

13. Agenda for sustainable development (2018), "Transforming our world: the 2030", available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf> (Accessed 19 Jan 2020).

14. United Nations Development Programmer (2019), "Human Development Report 2019. Beyond income, beyond averages, beyond today: Inequalities in Human Development in the 21st Century", available at: http://report.hdr.undp.org/?utm_source=web&utm_medium=homepage&utm_campaign=hdr19 (Accessed 19 Jan 2020).

15. UNCTAD (2019), "Digital Economy Report. Value creation and capture: implications for developing countries", available at: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/der2019_en.pdf (Accessed 19 Jan 2020).

16. United Nations Development Organization (2018), "Visions, scenarios and future pathways towards sustainable development", available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/4239Chapter%204%20Visions,%20scenarios%20and%20future%20pathways%20towards%20sustainable%20development2.pdf> (Accessed 19 Jan 2020).

17. Ministry of Health, Labor & Welfare, Japan (2015), "Japan 2035: Leading the World through Health", available at: <https://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/hokabunya/shakaihoshou/hokeniryou2035/future/en/> (Accessed 19 Jan 2020).

18. University of Washington (2018), "Foresight & CGIAR", available at: https://ispc.cgiar.org/sites/default/files/pdf/ispc_foresightcgiair_workshop_report_0.pdf (Accessed 19 Jan 2020).

19. KISTEP (2017), "The 5th Science and Technology Foresight (2016–2040) Discovering Future Technologies to Solve Major Issues of Future Society Republic of Korea", available at: https://www.nistep.go.jp/HP_E/research-works/02_foresight/index.html (Accessed 19 Jan 2020).

20. Shape of Science (2019), "SCImago Journal & Country Rank", available at: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php?year=2018> (Accessed 19 Jan 2020).

21. WIPO (2019), available at: <https://www3.wipo.int/ipstats/index.htm?tab=patent> (Accessed 19 Jan 2020).

Стаття надійшла до редакції 19.01.2020 р.

www.economy.nayka.com.ua

Електронне фахове видання

**Ефективна
ЕКОНОМІКА**

Виходить 12 разів на рік

Журнал включено до переліку наукових фахових видань України з ЕКОНОМІЧНИХ НАУК (Категорія «Б»)

Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292

e-mail: economy_2008@ukr.net

тел.: (044) 223-26-28

(044) 458-10-73