

*Владислав Віталійович Сотник (кандидат технічних наук, старший науковий співробітник)*

*Олександр Олексійович Расстригін (доктор технічних наук, професор)*

*Артем Валерійович Купчин*

*Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, Київ, Україна*

## МЕТОДИКА ВІДБОРУ КРИТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Прогнозні дослідження, в іноземній практиці більш відомі як форсайт, являють собою передумову для стабільного розвитку країни. В даній роботі проведений аналіз найбільш поширених методів технологічного форсайту, які використовуються як в Україні, так і закордоном. Встановлені як позитивні, так і негативні сторони кожного. В результаті дослідження авторами запропоновано рейтинг найпоширеніших методів науково-технологічного форсайту, показано недоцільність використання деяких методів для технологічного прогнозування в оборонній сфері України.

Для визначення переліку перспективних критичних технологій авторами запропонована комбінована методика, яка поєднує в собі експертні та статистичні методи.

В роботі описаний повний алгоритм проведення прогнозного дослідження щодо визначення переліку критичних технологій в оборонній сфері України. Запропонований форсайт-проект включає два етапи експертного опитування, а також бібліометричний та патентний аналіз. Крім того, продемонстровано повну структуру прийняття рішення стосовно відбору технологій до переліку критичних. Наведені основні принципи формування експертної комісії, визначено оптимальну кількість експертів у групах та ітерацій під час опитування. Також запропоновані узагальнені критерії відбору технологій до переліку критичних, на основі групового поєднання часткових критеріїв.

Запропоновано принцип граничного відсікання певних технологій на основі апроксимації функції, диференціювання та визначення точки однакових приростів абсцис та ординат. При цьому апроксимованою функцією є найбільш достовірна наближена функція до графіку, який описує залежність узагальненої оцінки критичності від номеру технології в порядку зростання. В практичному розумінні граничний рівень відбору технологій є межею, до якої зростання рівня критичності технологій набагато менше, ніж відповідне зростання після неї.

Результатом прогнозного дослідження за допомогою запропонованої методики є отримання переліку перспективних критичних технологій в оборонній сфері України.

**Ключові слова:** форсайт; прогнозні дослідження; критичні технології; ключові технології; метод аналізу ієрархій; Делфі.

### Вступ

“Об’єктивний аналіз – ефективні рішення”, – лозунг корпорації RAND, яка є безумовним світовим лідером прогнозних досліджень.

Наукові досягнення неодмінно приносять дивіденди, а практика останніх десятиліть показує, що успішні світові лідери все більше вкладають у науку, як каталізатор розвитку економіки країни. Південна Корея у 2017 р. витратила 4,29% свого ВВП на наукові дослідження, за нею йде Ізраїль (4,11%) і Японія (3,58%) [1]. В ЄС ситуація наступна: Швеція – 3,4%, Австрія – 3,16%, Данія – 3,05%, Німеччина – 3,02% [2]. На жаль Україна не підтримує світову тенденцію, питома вага витрат на наукові дослідження у 2018 році становила 0,47% від ВВП.

Здійснення наукових досліджень за всіма напрямками вимагає значних затрат, тому уряди країн сконцентровують максимум зусиль на розвиток найбільш важливих, ключових наукових напрямках та технологіях – критичних технологіях (далі – КТ) [3]. Для уніфікації розуміння терміну

авторами запропоновано власну дефініцію.

КТ – це стратегічно важлива для держави сукупність знань та виробничих операцій, готових виробів і матеріалів, які не можуть бути гарантовано імпортованими і без застосування яких виготовлення, ремонт і обслуговування існуючих, а також створення новітніх зразків озброєння не можливе. В даній статті буде розглянуто формування переліку лише перспективних КТ. Формування переліку існуючих КТ відбувається за допомогою інших методів та підходів, що не є метою даної роботи.

Основними інструментами для виявлення КТ є методи прогнозних досліджень, в іноземній практиці більш відомі як форсайт (від англ. Foresight – передбачення, погляд у майбутнє). По суті всі методи прогнозування складають основу методології форсайту.

Першими країнами, які використовували форсайт, як інструмент розроблення політики розвитку, були Японія та Америка. На початку

1970-х років у Японії застосували метод Делфі для прогнозування в науці та технологіях. Після цього естафету поступово підхопили і решта країн [4]. За кількістю публікацій прослідковується тренд на значне підвищення популярності цієї тематики з початку 1990-х років, а потім ще більший виток з 2000-х [5].

**Постановка проблеми.** У 2017 році Україна приєдналася до світової практики визначення своїх технологічних пріоритетів, шляхом формування та систематичного уточнення переліку критичних технологій. Однак чітко визначеної методики відбору технологій не існує, як не існує і загальноприйнятого поняття критичної технології.

**Аналіз остатніх досліджень і публікацій.** В багатьох наукових роботах, як українських, так і закордонних вчених, описані основні методи оцінки технологій для включення їх до переліку критичних.

Так, в роботі [4] зазначено, що основними методами є: огляд літератури, Делфі, експертні панелі, бібліометричний та патентний аналіз, інтерв'ю, конференція, мозковий штурм, дорожні карти, сценарії, SWOT-аналіз. У [6-8] зазначено, що основою прогнозування є використання комплексу методів експертних оцінок, зокрема – Делфі [6-7].

У роботах російських вчених провідне місце у прогнозуванні також займає метод Делфі. Крім того, вживаними методами є: метод аналізу ієрархій [9], бібліометричний та патентний аналіз, огляд науково-технічної інформації, мозковий штурм, еталонний аналіз (бенчмаркінг) [10].

Метод критичних технологій, який описаний у роботі [10], оперує звичайним експертним опитуванням. Це значно знижує якість експертної оцінки, в порівнянні з тим же Делфі. Крім того, не запропоновано принцип граничного рівня критичності технологій під час їх відбору.

Відомо, що у РФ для формування переліку КТ у 1996 та 2008 роках застосовувався метод Делфі [11], в Європі, крім того, використовували SWOT-аналіз [12]. Європейські вчені також зазначають, що найпоширеніший метод – Делфі, а часто використовуваними є метод сценаріїв, експертні панелі, дорожні карти, SWOT-аналіз [5], [13-16].

**Метою даної роботи** є розроблення ефективного механізму формування переліку критичних технологій для оборонної сфери України, шляхом комбінування найбільш підходящих методів прогнозування, виявлення та усунення їх недоліків.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Проаналізувавши роботи [4-7], [9-16] автори статті запропонували 12-ти бальний рейтинг найпоширеніших методів науково-технологічного форсайту (рис.1).

Експерти погоджуються, що не існує універсальної методики форсайту [5], [13], [15-16]. Дослідження, проведені британськими вченими, показали, що зазвичай здійснюється комбінування методів (із 33 найбільш поширених) для якісного проведення форсайту [13].

З метою оцінки потенційної можливості застосування запропонованих вище методів, проаналізуємо специфіку кожного з них.

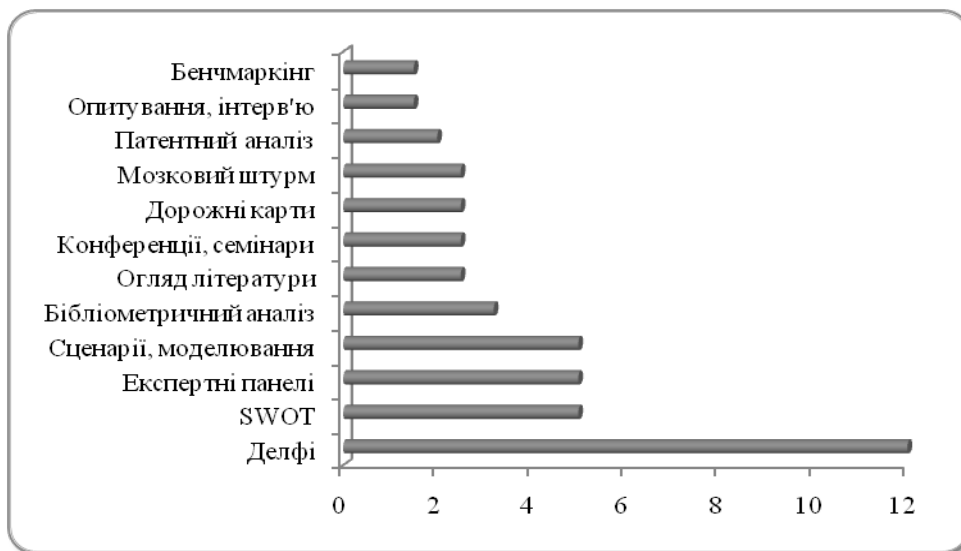


Рис. 1. Рейтинг методів форсайту

**1. Бенчмаркінг (benchmarking) – метод еталонного аналізу.** Це метод, в якому здійснюється об'єктивне порівняння чисельних показників запропонованих КТ із еталонними. У випадку прогнозування пріоритетних КТ України доцільно прийняти за еталон загальносвітові тенденції. Однак виявлення таких тенденцій – це окреме досить складне дослідження, тому такий

метод раціонально застосовувати лише для звуження вже опрацьованого переліку КТ.

**2. Опитування та інтерв'ю.** Досить простий метод, який базується на особистому спілкуванні з респондентом. Такий підхід не дозволяє експертам абстрагуватися від психологічного та емоційного фону, що вносить похибки у відповіді. Крім того, метод вимагає значних витрат часу, особливо

якщо експерти знаходяться в різних місцях.

**3. Патентний аналіз.** Проаналізувавши кількість виданих патентів на винаходи по рокам, можна прослідкувати тенденції розвитку певної технології, що дає можливість спрогнозувати її актуальність в довгостроковій перспективі. Запропонований аналіз варто проводити як за патентною базою України, так і за хоча б декількома найбільш розвиненими країнами. Однак, зважаючи на величезну кількість рубрик (більше 70 тисяч) у міжнародному класифікаторі патентів, такий аналіз буде досить трудомістким.

**4. Мозковий штурм (brainstorm).** Основою методу є генерація нових ідей, творче і негайне прийняття рішень експертами стосовно щойно запропонованих питань. Використання цього методу не є можливим, оскільки експерти ще на етапі їх відбору заздалегідь мають розуміти суть експертного опитування. Тому ефект неочікуваності буде відсутній, що в принципі нівелює суть методу взагалі.

**5. Дорожні карти.** Метод дорожньої карти – це деталізований і покроковий варіант розвитку КТ. Експерти прогнозують не лише кінцевий продукт від впровадження технології, а й етапи її розвитку, враховуючи всі можливі чинники. Для планування на 20 років цей метод стане складним в реалізації, оскільки врахувати всі чинники не реально.

**6. Конференції, семінари.** Організоване зібрання експертів з індивідуальними виступами та обговоренням. Цей метод було б доцільно використовувати для затвердження остаточного переліку КТ, як в групах експертів за напрямками, так і в експертній комісії загалом.

**7. Бібліометрія (бібліометричний аналіз та огляд літератури).** По суті бібліометрія (від грецької «biblio» - книга, «metro» - міряти) включає в себе огляд літератури (наукові публікації, книги, звіти, веб-сайти, матеріали конференцій та ін.), індекс цитувань, рейтинг авторів, розподіл за країнами і т.д. Такий аналіз дає конкретні кількісні показники, завдяки чому досить легко побудувати ранжування технологій.

**8. Сценарії.** Розробка сценаріїв досить схожа на метод дорожніх карт, тільки в цьому методі здійснюється розробка декількох варіантів розвитку КТ, також враховуючи всі можливі чинники на всіх етапах розвитку. Потім експертами скорочується кількість сценаріїв, шляхом об'єднання схожих чи видалення неприйнятних.

**9. Метод експертних панелей.** Експертна комісія поділяється на групи (експертні панелі) відповідно до фахової приналежності. Експертні групи оцінюють “критичність” технологій на основі встановлених критеріїв. Зазвичай цей метод комбінується з опитуванням, обговоренням, бібліометричним аналізом та ін. Обробка результатів опитування експертів може здійснюватись різними методами. Одним із таких є **метод аналізу ієрархії Сааті.**

**10. SWOT-аналіз.** Процес полягає в розділенні факторів впливу на чотири категорії: сильні

(Strengths) та слабкі (Weaknesses) сторони певної технології, можливості (Opportunities) та загрози (Threats), пов'язані з її реалізацією. Результатом такого аналізу має бути рішення: «Входитиме певна технологія до переліку критичних, чи ні?» У запропонованому методі оцінюється кожна технологія окремо. SWOT-аналіз має місце у разі прийняття рішень стосовно невеликої кількості альтернатив, при цьому початковий перелік КТ має бути вже сформований на початок опитування.

**11. Делфі.** Базовим принципом цього методу є відсутність впливу думок експертів між собою. Кожен експерт окремо відповідає на поставлені йому питання, при цьому не знаючи, хто входить до складу експертної групи та як вони відповідають. При такому підході відкидається вплив групової думки. Крім того, опитування можна здійснювати за екстериторіальним принципом. Зазвичай проводять декілька ітерацій, постійно зменшуючи список альтернатив до того моменту, доки не буде отримана усереднена думка від більшості експертів.

Після проведеного аналізу стає зрозумілим, що такі методи як бенчмаркінг, опитування, мозковий штурм, дорожні карти та сценарії, конференції та семінари, а також SWOT-аналіз в чистому вигляді не можуть використовуватись для технологічного форсайту. За відсутності значної кількості статистичних даних про певні технології, ми також не можемо застосувати виключно методи бібліометрії та патентного аналізу.

В запропонованій методиці відбору критичних технологій авторами пропонується скомбінувати статистичні та експертні методи.

**Методика відбору критичних технологій.** У 2019 році відбувалася актуалізація переліку КТ України в оборонній сфері, що по своїй суті означає проведення форсайт-проекту. Авторами даної роботи запропонована методика, яка враховує не тільки світові тенденції форсайту, а й специфіку оборонної сфери України зокрема.

**На першому (підготовчому) етапі** організатори дослідження формують експертну комісію, визначаються із кількісним складом експертних груп та їх компетентністю (рис. 2).

Більшість науковців, які вивчають прогнози дослідження, упускають питання відбору експертів, відмежовуючись фактом найвищої кваліфікації для останніх. Однак, в деяких роботах все ж запропоновані методи відбору експертних груп. Наприклад, прийом «сніжного кому», коли кожен експерт пропонує декілька прізвищ спеціалістів у досліджуваній темі, а ті, в свою чергу, пропонують нових і т.д. В таких умовах упускаються думки науковців з інших наукових «кланів». Досить поширений варіант відбору експертів за допомогою формальних ознак (посада, вчене звання, науковий ступінь та ін.).

Найбільш вживаними методами оцінки компетентності експертів є: самооцінка, взаємооцінка, оцінка за об'єктивними формальними даними та оцінка відповідності відповідей експерта [17-21]. Коефіцієнт

конкордації, як характеристика узгодженості експертної думки, є інструментом для розуміння схожості та єдності мислення експертів.

Однак, у випадку технологічного прогнозу, оцінювання експертів за відповідністю їх відповідей до узагальноної думки не може бути застосований, оскільки є невизначена вірогідність того, що саме експерт з іншою (не загальною) думкою може дати якісний і креативний прогноз.

Авторами публікації не будуть розглядатися всі «за» та «проти» кожного методу, оскільки це окреме досить дискусійне питання. Єдине в чому погоджується більшість авторів подібних публікацій – експерти мають бути спеціалістами найвищої кваліфікації в досліджуваній тематиці. Ніяких універсальних методик не існує, а вибір компетентних експертів є справою організаторів дослідження та показником їх фаховості.

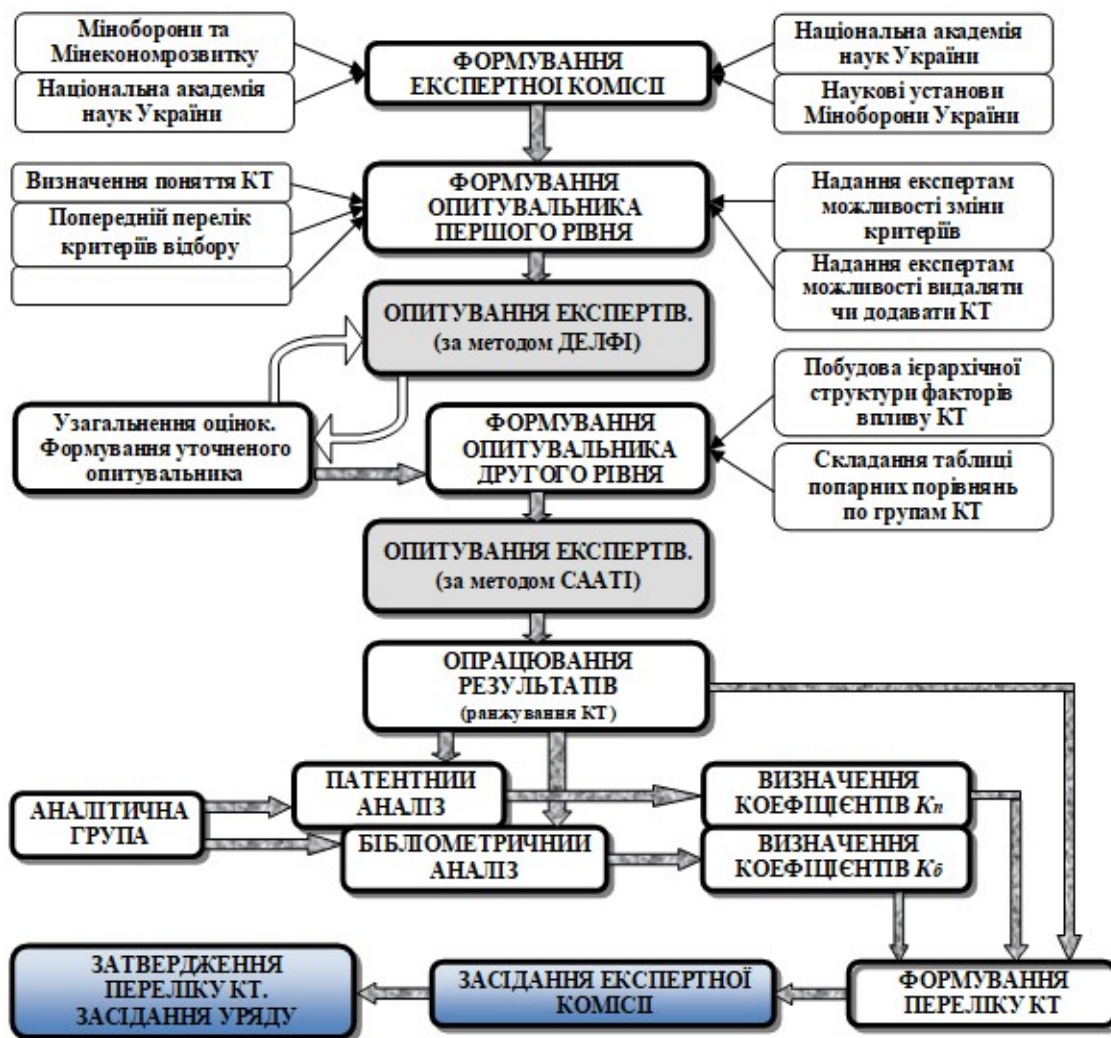


Рис. 2. Структурно-логічна схема визначення критичності технологій

Основну масу голосів експертної комісії має забезпечувати наукова спільнота, яка спеціалізується на розробці та дослідженні перспективних технологій. Пропонується обирати експертів від науково-дослідних установ Міністерства оборони, як найбільш висококваліфікованих науковців у галузі розвитку перспективних оборонних технологій; від науково-дослідних установ Національної академії наук України, як розробників фундаментальних засад розвитку КТ; та (у разі необхідності) експертну комісію можна доповнити представниками від Міністерства освіти і науки, які спеціалізуються на науково-технологічних прогнозах.

Не можна оминати увагою представників підприємств оборонно-промислового комплексу

(далі – ОПК). Основою бізнесу є отримання прибутків, а не створення якісного товару, тому експерти можуть бути не об'єктивними. Однак ігнорувати їх голоси ми не можемо, оскільки саме їх підприємства будуть впроваджувати КТ в промисловість і тільки представники ОПК володіють інформацією про розробки, які вже ведуться на підприємстві, та перспективні.

До складу експертних груп також можуть бути включені експерти Міністерства оборони, як основний замовник і споживач, а також представники Міністерства економічного розвитку, які можуть оцінити КТ з точки зору можливості їх подвійного використання.

Проаналізувавши роботи [17-19] стає зрозумілим, що у більшості форсайт проєктів

середня кількість експертів у одній тематичній групі становить не більше 20 осіб. А дослідження, проведені американськими вченими у роботі [20], демонструють середню кількість експертів у межах 18-34 особи. Досить цікавим є той факт, що зазвичай вистачає 2-3 ітерації (за методом Делфі) для отримання консенсусного рішення.

Наступним кроком на підготовчому етапі має бути формування опитувальника, першим компонентом якого варто поставити визначення терміну КТ (наведено у вступі до даної статті).

Другим компонентом має бути попередній перелік КТ. За наявності ресурсів було б доцільно

провести масштабний бібліометричний аналіз та доповнити попередній перелік КТ новими перспективними технологіями, які можуть бути застосовані в оборонній сфері. Крім того, в опитувальнику обов'язково мають бути запропоновані критерії відбору.

Перелік критеріїв визначається відповідно до факторів, які впливають на прийняття рішень експертами. Такі фактори та узагальнюючі критерії наведені у табл. 1. Користуючись методом аналізу ієрархій досить легко продемонструвати структуру прийняття рішень щодо відбору технологій до переліку критичних (рис. 3).

Таблиця 1

Критерії оцінювання критичності технологій

№	Фактор впливу на прийняття рішення	Узагальнений критерій
1.	Використання у всіх видах ЗС України	Масштаб застосування
2.	Використання в інших силових структурах	
3.	Подвійне використання	
4.	Відповідність світовим тенденціям розвитку науки і технологій	Перспективність
5.	Потенційна необхідність застосування у перспективних зразках	
6.	Кадрове забезпечення для проведення наукових досліджень	Науково-технічний потенціал
7.	Рівень готовності виробничої, випробувальної та іншої матеріально-технічної бази	
8.	Ціна зразка перспективного озброєння	Економічна привабливість
9.	Науково-дослідні витрати	
10.	Експлуатаційні витрати зразка ОВТ	
11.	Підвищення тактико-технічних характеристик	Ефективність
12.	Вирішення принципово нових завдань	
13.	Строки серійного виробництва ОВТ та поставки у війська	Строки виготовлення

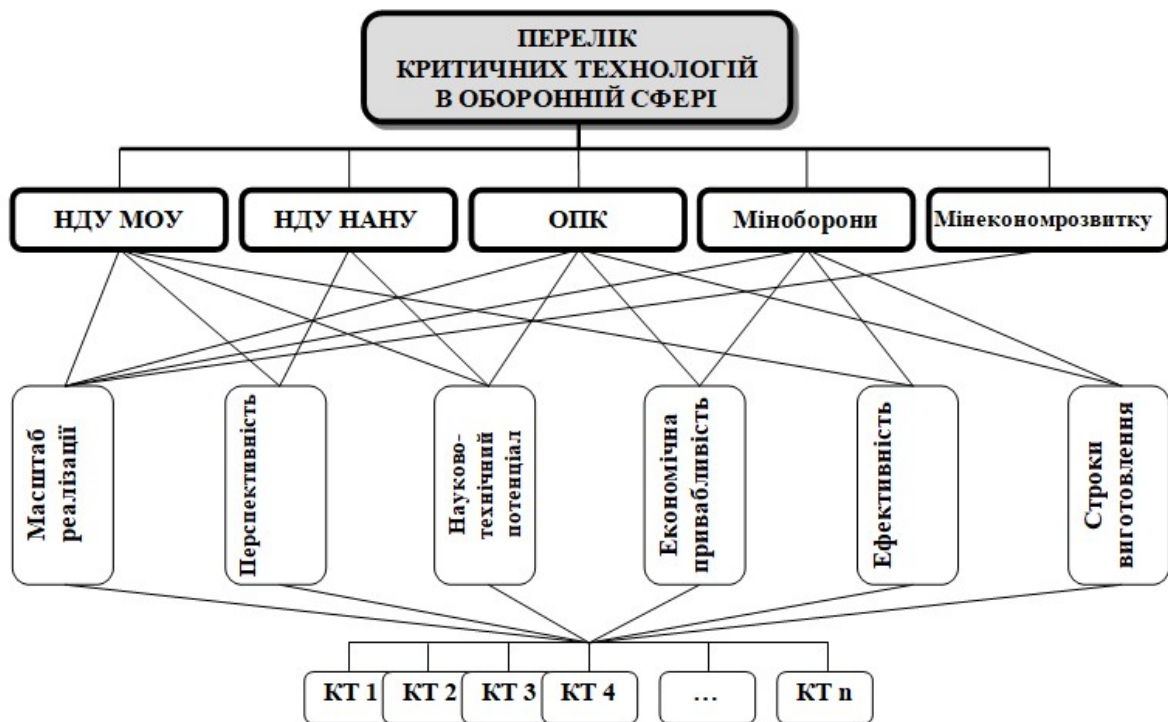


Рис. 3. Ієрархічна структура вибору критичних технологій

Другий етап (основний) включає в себе два рівні опитування експертів, патентний і бібліометричний аналіз та опрацювання результатів.

Перший рівень опитування здійснюється за методом Делфі (рис. 3), який є найбільш поширеним серед форсайтів і досить добре описаний у багатьох роботах, зокрема у [17-20],

тому деталі процесу опитування упускаємо.

Експертам дозволяється доповнювати запропонований перелік КТ та критеріїв відбору. Виставляючи знак «+» або «-», експерт пропонує включити чи виключити певний пункт з переліку, при цьому кожен експерт може аргументувати свій вибір. В результаті опитування організатори отримують максимальну кількість можливих варіантів критеріїв і КТ та конкретну кількість голосів за чи проти них. Це є основою для формування нових опитувальників.

Якщо експерти одногосно видаляють зі своїх опитувальників певну КТ чи критерій, це є підставою для організаторів видалити ці пункти з опитувальників наступної ітерації.

Друга ітерація здійснюється також за методом Делфі. Однак тепер експерти мають виставити оцінки за 10-бальною шкалою для кожної КТ та критерію. При цьому експерти знайомляться не тільки із оцінками, а й із судженнями та аргументацією колег з попереднього туру. Таким чином експерти можуть коригувати свою думку, відповідно до зазначених аргументів, що зближує їх оцінку до узгодженої.

За відсутності консенсусу у відповідях групи, класичний метод Делфі має продовжуватись доти, доки не буде досягнена узгоджена думка. Однак, такий прийом тягне за собою зворотну дію – конформізм. Багатьом експертам просто набридне участь в такому довготривалому проєкті, а

наступні оцінки вже не будуть такими ж обдуманими, як і раніше. Крім того, ймовірно, деякі учасники експертизи не будуть досить принциповими та приєднаються до загальної думки [18]. На цьому етапі можна визначити перелік досліджуваних об'єктів з відповідним ранжуванням. Якщо замовник досліджень висунув вимогу стосовно кількості КТ у фінальному переліку, відповідно організатори відбирають визначену кількість з найвищим рейтингом та включають такі технології до матриць попарних порівнянь за методом Сааті. Однак, у випадку коли вищезазначеної вимоги не висунуто, тоді виникає серйозне питання, а які ж об'єкти досліджень варто пропускати до наступного туру?

Запропонований варіант розв'язання такої задачі ґрунтується на диференціюванні апроксимованої функції та знаходженні точки  $x_0$ , в якій похідна буде рівна 1. Відомо, що в околі такої точки приріст функції та приріст аргументу будуть рівними. До  $x_0$  приріст функції зростає менше ніж приріст аргументу, а після неї – більше. Тому точка  $x_0$  слугуватиме для нас межею, до якої значення функції зростає несуттєво.

Для кращого розуміння розглянемо приклад.

**Приклад.** Експертна група оцінювала 12 запропонованих технологій за 10-ти бальною шкалою. Узагальнені оцінки критичності виявились наступними:

Таблиця 2

Узагальнені оцінки критичності технологій (приклад)

Порядковий номер критичної технології	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Узагальнена оцінка (оцінка критичності технології)	2	1	2	5	9	8	9	10	10	5	4	1

На рисунку 4 можна спостерігати графік, який є вираженням таблиці 2, але побудований за принципом зростання оцінок по технологіям, а не за порядковими номерами. За допомогою

програми Excel будемо відповідний графік, проводимо апроксимацію та отримуємо наближену функцію з певною достовірністю. Такі функції можемо спостерігати у табл. 3 та рис. 5.

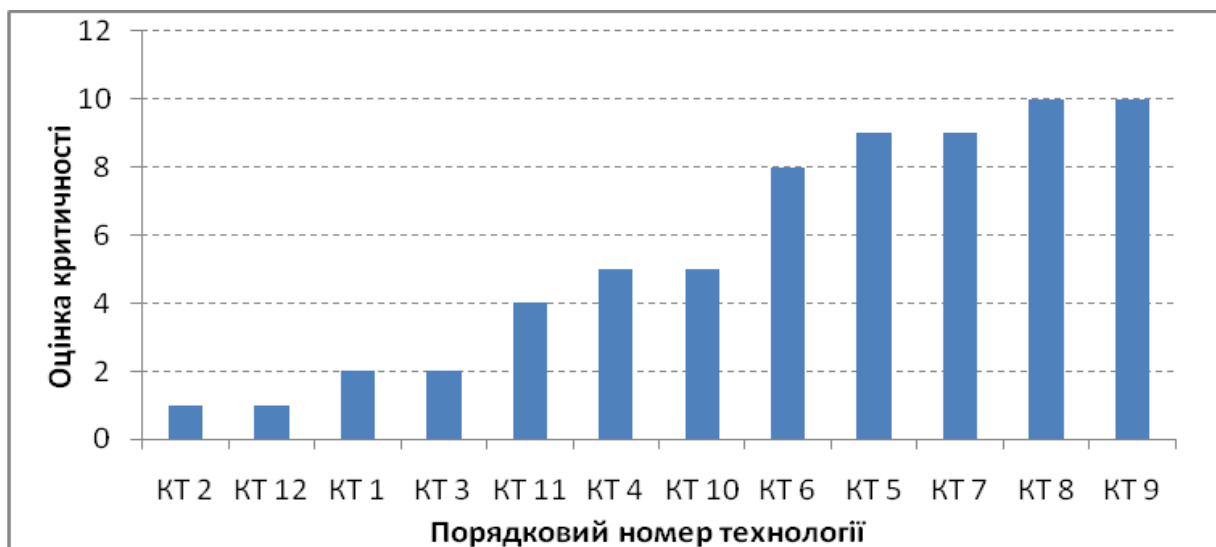


Рис. 4. Розподіл критичних технологій у порядку зростання узагальненої оцінки

Наближені (апроксимовані) функції		
Функція апроксимації	Математичний вираз наближеної функції	Достовірність апроксимації
Логарифмічна	$y = 4,268 \ln(x) - 1,608$	$R^2 = 0,823$
Експоненціальна	$y = 0,921 e^{0,231x}$	$R^2 = 0,915$
Степенева	$y = 0,65x^{1,112}$	$R^2 = 0,929$
Лінійна	$y = 0,965x - 0,772$	$R^2 = 0,958$
Поліноміальна	$y = -0,016x^3 + 0,324x^2 - 0,803x + 1,535$	$R^2 = 0,981$

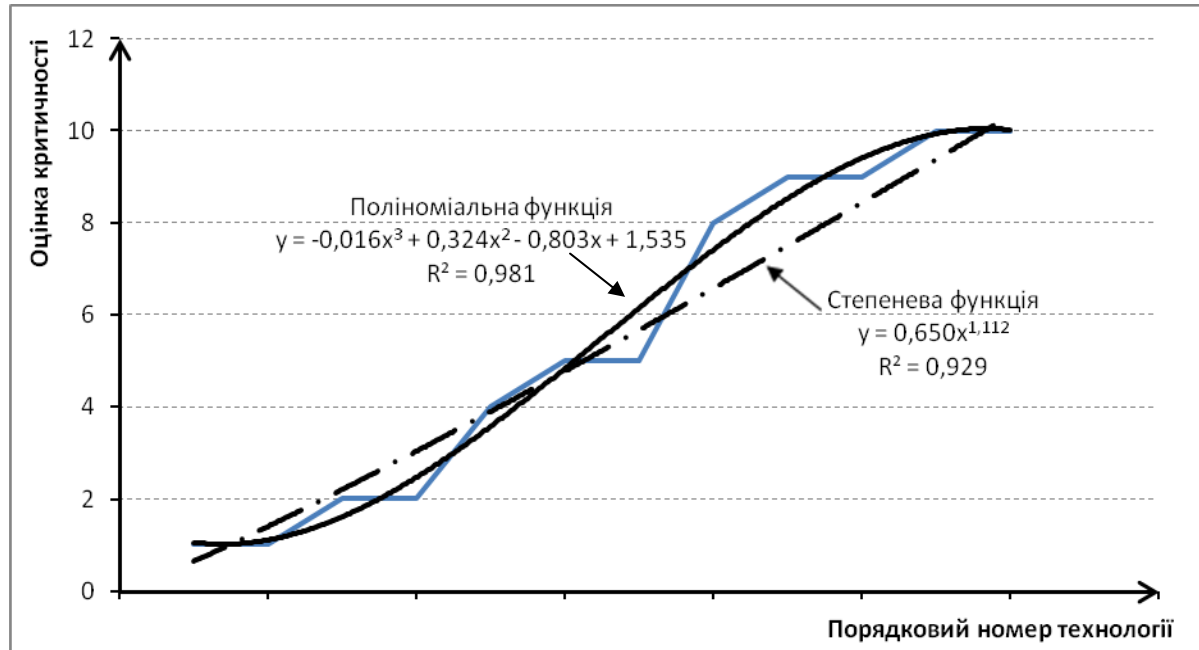


Рис. 5. Побудова апроксимованої функції залежності критичної технології від узагальненої оцінки

Найвищу достовірність побудови наближеної функції має поліноміальна функція, похідна від якої має вираз:  $y' = -0,048x^2 + 0,648x - 0,803$ .

Точка, в якій похідна першого порядку дорівнює одиниці ( $x_0$ ) – це точка, в нескінченно малому околі якої приріст ординати та приріст абсциси рівні. До цієї точки задовольняється нерівність  $\Delta y < \Delta x$ , а після неї  $\Delta y > \Delta x$ .

В нашому практичному випадку до точки  $x_0$  зростання оцінки КТ набагато менше, ніж відповідне зростання після неї. Вирахувавши значення  $x_0$ , ми отримаємо поріг, до якого зростання оцінки технологій не суттєве. Такі технології мають низьку оцінку, тому і не попадають до наступного етапу дослідження.

В нашому випадку:  $y' = 1 \Leftrightarrow x_0 = [4; 9,6]$ . Ми отримали два значення, що означає наявність двох точок, де похідна дорівнює 1. Тобто після точки  $x_0 = 4$  значення функції значно більше зростає, ніж до неї. У наведеному прикладі перші чотири технології не попадають до переліку КТ. Це: КТ2, КТ12, КТ1, КТ3.

**Другий рівень опитування.** Сформований список КТ та критеріїв записують до матриць попарних порівнянь (за методом Сааті). Метод аналізу ієрархії Сааті досить поширений і добре описаний у багатьох джерелах, зокрема у [9], [21-24].

До речі саме метод попарних порівнянь

використовувався у дослідженні [25] для оцінки вагомості характеристик бойових машин.

Завдяки розподіленню КТ за науковими напрямами (тематичними групами), для зручності експертів, матриця попарних порівнянь не має перевищувати розмір 15x15. Крім того, це максимальне значення розмірності матриці, для яких розраховані середні значення випадкових індексів [22].

Опитувальники знову розсилаються експертам, які оцінюють як вагомість критеріїв, так і критичність технологій.

Опрацювавши результати опитування (за методом Сааті), отримаємо попереднє ранжування КТ. Окремо відібраною аналітичною групою проводимо патентний та бібліометричний аналіз за кожною КТ. Щоб прослідкувати тренди, аналіз має проводитись за період не менше 8-10 років. Отримані статистичні дані дають змогу розрахувати додаткові коефіцієнти  $K_n$  та  $K_6$ , які характеризують динаміку розвитку КТ.

$$K_n = \frac{\sum_{i=n+1}^n x_i}{\sum_{i=1}^{n/2} x_i}, K_6 = \frac{\sum_{i=n+1}^n y_i}{\sum_{i=1}^{n/2} y_i}, K = \frac{K_6 + K_n}{2}$$

де:  $K_n$  – коефіцієнт динаміки КТ за патентним аналізом;

$K_6$  – коефіцієнт динаміки КТ за бібліометричним аналізом;

$K$  – статистичний коефіцієнт динаміки КТ;  
 $i$  – рік аналізу;  
 $n$  – період аналізу (кількість років, що охоплюються аналізом);  
 $x$  – кількість виданих патентів;  
 $y$  – кількість публікацій.

Після нормування отримаємо другий ранжований перелік КТ за статистичними показниками. Перемножуючи внормований статистичний коефіцієнт і коефіцієнт пріоритету (отриманий методом Саати), ми отримуємо об'єктивний показник, який враховує як експертні оцінки, так і статистичні дані, після чого проводиться остаточне ранжування КТ.

**Третій етап (заключний).** Ранжований перелік КТ подається на засідання експертної комісії для обговорення та прийняття рішення щодо включення до остаточного переліку КТ з найвищим рейтингом. Після схвалення перелік

### Література

1. **Баланчук І.С.** Досвід інноваційного розвитку Південної Кореї і його адаптація в Україні. *Наука, технології, інновації*. 2018. № 3. С. 50-54. 2. Наукові дослідження і розробки у 2018 році. Держстат: веб-сайт. URL: <https://ukrstat.gov.ua>. 3. **Купчин А., Сотник В.** Критичні технології в оборонній сфері. Новий погляд. *Озброєння та військова техніка*. 2019. № 2. С. 35-42. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2\(22\).35-41](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2(22).35-41) 4. **Паладченко О.Ф., Молчанова І.В.** Сучасні підходи і методи проведення прогностичних досліджень: світовий досвід і можливість його використання в Україні. *Наука, технології, інновації*. 2018. № 2. С. 23-32. 5. **Gibson E., Daim T., Garcés E., Dabic M.** Technology foresight: a bibliometric analysis to identify leading and emerging methods. *Foresight and STI governance*. 2018. № 1. Р. 6-24. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2018.1.6.24> 6. **Величко О., Затинайко О., Скурський П.** Реалізація національної безпеки держави в контексті глобальних кліматичних змін. *Наука і оборона*. 2011. № 4. С. 23–24, 28–29. 7. **Довгополий А.С., Сотник В.В., Томчук В.В.** та ін. Пріоритетний розвиток критичних технологій – запорука зміцнення обороноздатності та економічного зростання держави. *Озброєння та військова техніка*. 2019. № 1. С. 16-17. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).15-21](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).15-21) 8. **Горбулін В.П., Шеховцов В.С., Шевцов А.І.** Проблемні питання визначення і впровадження критичних технологій у сфері виробництва озброєння. *Вісник НАН України*. 2018. № 2. С. 3. 9. **Буренок В.М., Івлев. А.А., Корчак В.Ю.** Развитие военных технологий XXI века: проблемы планирование, реализация. Тверь: Вид. «Купол», 2009. С. 166, 178. 10. **Соколов А.В.** Метод критических технологий. *Форсайт*. 2007. № 4. С. 64-74. 11. **Мухутдинова Т.З.** Приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации и критические технологии федерального уровня: история разработки и динамика развития. *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. № 14. С. 249. 12. **Кольцов А.В., Октябрьский А.М., Хабарова Т.В.** Критические технологии и приоритетные направления развития науки и техники в рамках реализации ФЦП развития научно-технологического комплекса Российской Федерации. *Инноватика и экспертиза*. 2016. № 3. С. 33, 36. 13. **Georghiou I., Harper J., Keenan M.** The handbook of technology foresight. Concepts and practice. Bodmin, Cornwall: MPG books Ltd, 2008. P. 17-75. URL: [https://books.google.com.ua/books/about/The\\_Handbook\\_of\\_Tech](https://books.google.com.ua/books/about/The_Handbook_of_Tech)

подають на затвердження до Кабінету Міністрів України.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Запропонована в цій роботі методика відбору критичних технологій дає можливість якісно провести аналіз технологій як з точки зору статистичних даних (об'єктивні оцінки), так і враховуючи експертні (суб'єктивні) оцінки. Крім того, поєднання в експертному опитуванні методів Делфі та аналізу ієрархій, дозволило якісно врахувати позитивні сторони кожного з них.

Враховуючи досвід найрозвиненіших країн стосовно розвитку КТ, а також значну увагу, яка приділяється питанням прогностичних досліджень у світі, розроблена методика може стати дієвим інструментом технологічного форсайту та, як наслідок, зростання економіки та обороноздатності країни в цілому.

[nology\\_Foresight.html?hl=uk&id=3SxmAwAAQBAJ&redir\\_esc=y](nology_Foresight.html?hl=uk&id=3SxmAwAAQBAJ&redir_esc=y) 14. **Romanowski M., Nadolny K.** Technological Foresight – characterisation of research methods used in prospective analysis. *Journal of Mechanical and Energy Engineering*. 2018. № 2. P. 101-108. <https://doi.org/10.30464/jmee.2018.2.2.101> 15. **Bühning J., Liedtka J.** Embracing systematic futures thinking at the intersection of Strategic Planning, Foresight and Design. *Journal of Innovation Management*. 2018. № 3. P. 134-152. [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_006.003\\_0006](https://doi.org/10.24840/2183-0606_006.003_0006) 16. **Korreck S.** Opening up Corporate Foresight: What Can We Learn from Open and User Innovation? *Journal of Innovation Management*. 2018. № 3. P. 153-177. [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_006.003\\_0007](https://doi.org/10.24840/2183-0606_006.003_0007) 17. **Кургов А.І., Полікашин О.В., Потіхенський А.І., Александров В.М.** Експертні оцінки. Метод «Делфі» як технологія прийняття управлінських рішень. *Збірник наукових праць ХНУІС*. 2017. № 1(50). С. 118-122. 18. **Горбатенко В., Петренко І.** Метод „Делфі” та специфіка його застосування у прогностичних розробках. *Політичний менеджмент*. 2008. № 6. С. 174-182. 19. **Anthony F. Jorm.** Using the Delphi expert consensus method in mental health research. *The Australian & New Zealand Journal of Psychiatry*. 2015. № 10(49). P. 887-897. <https://doi.org/10.1177/0004867415600891> 20. **Skinner R., Nelson R., Wynne W., Chin and Lesley Land.** The Delphi Method Research Strategy in Studies of Information Systems. *Communications of the Association for Information Systems*. 2015. № 2 (37). P. 31-63. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.03702> 21. **Полегенько А.Ф., Круковський-Синевич К.Б., Коростелів О.П.** Метод анализа иерархий. Некоторые аспекты практического применения. Киев: ЦНИИ ВВТ ВСУ, 2011. 154 с. 22. **Саати Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. М: «Радио и связь», 1993. 278 с. 23. **Ossadnik W., Schinke S., Kaspar R.** Group Aggregation Techniques for Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process: A Comparative Analysis. *Group Decision and Negotiation*. 2015. № 2(25). P. 432-448. <https://doi.org/10.1007/s10726-015-9448-4> 24. **Enrique Mu, Milagros Pereyra-Rojas.** Practical Decision Making. Springer: Cham, 2017. 111p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-33861-3> 25. **Арістархов О., Бісик С., Слюсар В.** Оцінка вагомості показників бронетранспортера за даними опитування з використанням методу парного порівняння. *Озброєння та військова техніка*. 2019. № 2. С. 42-49. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2\(22\).42-49](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2(22).42-49)



**МЕТОДИКА ОТБОРА КРИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Владислав Витальевич Сотник (кандидат технических наук, старший научный сотрудник)*

*Александр Алексеевич Расстрыгин (доктор технических наук, профессор)*

*Артем Валерьевич Купчин*

*Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники ВС Украины,  
Киев, Украина*

*Прогнозные исследования, в зарубежной практике более известны как форсайт, представляют собой предусловие для стабильного развития страны в любой отрасли. В данной работе проведен анализ основных наиболее распространенных методов технологического форсайта, которые используются как в Украине, так и в других странах. Определены как положительные, так и отрицательные черты каждого из них. Исследование показало, что наиболее распространенными являются методы Делфи, SWOT-анализ, экспертные панели, сценарии, моделирование, библиометрический анализ и др.*

*Проведенный анализ также указал, что такие методы, как бенчмаркинг, опрос, мозговой штурм, дорожные карты и сценарии, конференции и семинары, а также SWOT-анализ в чистом виде не могут быть применены для форсайта технологий в оборонной сфере. В случае отсутствия определенного количества статистических данных, мы также не можем говорить о применении исключительно методов библиометрического и патентного анализа. По этому, в условиях ограниченного объема статистических данных без экспертных методов не обойтись, но при этом нужно учитывать, что экспертные оценки всегда имеют погрешность.*

*Для определения перечня критических технологий в оборонной сфере Украины, авторами статьи предложена новая методика технологического форсайта – комбинационная методика отбора критических технологий. Она комбинирует в себе экспертные методы (Делфи и метод анализа иерархий) и статистические (патентный и библиометрический анализ).*

*В работе описан полный алгоритм проведения прогнозных исследований, касаемо определения перечня критических технологий в оборонной сфере Украины.*

*Кроме того, продемонстрирована полная структура принятия решений относительно отбора технологий к перечню критических, с описанием состава экспертной комиссии и обобщенными критериями отбора.*

*Предложен новый принцип отсекаания неприоритетных технологий на основе дифференцирования аппроксимированной функции и определения точки одинаковых приростов абсцисс та ординат. Алгоритм предполагает проведение двух этапов опроса, за методом Делфи и парных сравнений, а также проведение библиометрического и патентного анализа. В результате проведенного форсайта по комбинационной методике мы получаем объективное ранжирование критических технологий.*

***Ключевые слова:** форсайт, прогнозные исследования, критические технологии, ключевые технологии, метод анализа иерархий, Делфи.*

**METHOD OF THE CRITICAL TECHNOLOGIES SELECTION**

*Vladyslav Sotnyk (Candidate of Technical Sciences, Senior researcher)*

*Oleksandr Rasstrygin (Doctor of Technical Sciences, Professor)*

*Artem Kupchyn*

*Central research institute of armaments and military equipment of the Armed forces of Ukraine, Kyiv,  
Ukraine*

*An important condition for the stable development of the country is quality predictive research, in international practice better known as foresight. In this paper, authors analyze the most popular methods of technological foresight, which are used both in Ukraine and in other countries. The positive and negative traits of each of them are determined. This research showed that the most common methods of technological foresight are Delphi, SWOT analysis, expert panels, scenarios, modeling, bibliometric and patent analysis, etc.*

*The analysis also indicated that methods, such as benchmarking, polling, brainstorming, roadmaps and scenarios, conferences, seminars and SWOT analysis cannot be applied to technological foresight in defense sphere.*

*We also cannot talk about the use of exclusively methods of bibliometric and patent analysis, if the statistical data is not enough to predictive research. Therefore, we cannot forecast future technological directions without expert methods, but it should be borne in mind that expert estimates always have an error.*

*The authors proposed a new method of technological foresight to determine the list of critical technologies in the defense sector of Ukraine - the method of critical technologies. It combines expert methods (Delphi and expert panel method) and statistical methods (patent and bibliometric analysis).*

*The paper describes the complete algorithm of conducting predictive research regarding to determine the critical technologies list in the defense sector of Ukraine.*

In addition, the full decision-making structure the selection of technologies to the list of critical ones was demonstrated, with a description of the composition of the expert commission and generalized selection criteria. A new principle is proposed for cutting off non-priority technologies based on differentiation of the approximated function and determination of the point of equal increments of abscissa and ordinate. The algorithm involves carrying out two stages of the survey, the Delphi method and method of pairwise comparisons, bibliometric and patent analysis. As a result of the foresight by the method of critical technologies, we get an objective ranking of critical technologies.

**Key words:** foresight, predictive research, critical technology, key technology, analytic hierarchy process, Delphi.

## References

- Balanchuk I.** (2018), "Dosvid innovaciynoho rozvytku Pivdennoi Korei i yoho adaptaciya v Ukraini" [Experience of innovative development of South Korea and its adaptation in Ukraine], *Science, technologies, innovations*, No. 3, pp. 50-54.
- The official site of ukrstat.gov.ua, "Naukovi doslidjennya i rozrobky u 2018 roczii" [Research and development in 2018], available at: <https://ukrstat.gov.ua> (accessed 20 June 2019).
- Kupchyn A., Sotnyk V.** (2019), "Krytychni tehnologii v oboronniy sferi. Novyi pohlyad" [Critical technologies in the defense sphere. A new look], *Weapons and military equipment*, No. 2, pp. 35-42. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2\(22\).35-41](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2(22).35-41)
- Paladchenko O.F., Molchanova I.V.** (2018), "Suchasni pidkhody i metody provedennya prohoznykh doslidjen: svitovyi dosvid i mojljvyst yoho vykorystannya v Ukraini" [Current approaches and methods of predictive research: world experience and the possibility of its use in Ukraine], *Science, technologies, innovations*, No. 2, pp. 23-32.
- Gibson E., Daim T., Garcés E., Dabic M.** (2018), "Technology foresight: a bibliometric analysis to identify leading and emerging methods", *Foresight and STI governance*, No. 1, pp. 6-24. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2018.1.6.24>
- Velychko O., Zatynayko O., Skursky P.** (2011), "Realizaciya nacionalnoi bezpeky derzhavy v konteksti globalnykh klimatichnykh zmin" [Realization of national state security in the context of global climate change], *Science and defense*, No. 4, pp. 23-24, 28-29.
- Dovhopolyi A.S., Sotnyk V.V., Tomchuk V.V., Kopylova Z.M., Bura E.B.** (2019), "Priorityetnyi rozvytok krytychnykh tehnologii – zaporuka zmichennya oboronozdatnosti ta ekonomichnoho zrostannya derjavy" [Priority development of critical technologies - the key to strengthening the defense capability and economic growth of the state], *Weapons and military equipment*, No. 1, pp. 16-17. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1\(21\).15-21](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.1(21).15-21)
- Horbulin V.P., Shekhovczov V.S., Shevczov A.I.** (2018), "Problemni pytannya vyznachennya i vprovadjennya krytychnykh tehnologii u sferi vyrobnyctva ozbroennya" [Problematic issues of identification and implementation of critical technologies in the arms production], *Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, No. 2, p. 3.
- Burenok V.M., Ivlev A.A., Korchak V.U.** (2009), "Razvitie voennykh tehnologii XXI veka: problemy, planirovanie, realizaciya" [Development of military technologies of the 21st century: problems of planning, implementation], Tver: Kupol, pp. 166,178.
- Sokolov A.V.** (2007), "Metod kriticheskikh tehnologii" [Method of the critical technologies], *Foresight*, No. 4, pp. 64-74.
- Mukhutdinova T.Z.** (2012), "Priorityetnye napravleniya razvitiya nauki, tehnologii i tekhniki Rossiyskoy Federaczii i kriticheskie tehnologii federalnogo urovnya: istoriya razrabotki i dinamika razvitiya" [Priority directions of development of science, technology and technology of the Russian Federation and critical technologies of the federal level: development history and dynamics of development], *Bulletin of Kazan Technological University*, No. 14, p. 249.
- Kolczov A.V., Oktyabrskii A.M., Khabarova T.V.** (2016), "Kriticheskie tehnologii i priorityetnye napravleniya razvitiya nauki i tekhniki v ramkakh realizaczii FCP razvitiya nauchno-tehnologicheskogo kompleksa Rossiyskoy Federaczii" [Critical technologies and priority areas for the development of science and technology in the framework of the implementation of the federal target program for the development of the scientific and technological complex of the Russian Federation], *Innovation and Expertise*, No. 3, pp. 33, 36.
- Georghiou I., Harper J.C., Keenan M., Miles I., Popper R.** (2008), The handbook of technology foresight. Concepts and practice, Bodmin, Cornwall: MPG books Ltd, pp. 17, 20, 21, 74, 75, available at: [https://books.google.com.ua/books/about/The\\_Handbook\\_of\\_Technology\\_Foresight.html?hl=uk&id=3SxmAwAAOBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ua/books/about/The_Handbook_of_Technology_Foresight.html?hl=uk&id=3SxmAwAAOBAJ&redir_esc=y) (accessed 21 June 2019).
- Romanowski M., Nadolny K.** (2018), Technological Foresight – characterisation of research methods used in prospective analysis, *Journal of Mechanical and Energy Engineering*, No. 2, pp. 101-108. <https://doi.org/10.30464/jmee.2018.2.2.101>
- Jörn Bühring, Jeanne Liedtka** (2018), Embracing systematic futures thinking at the intersection of Strategic Planning, Foresight and Design, *Journal of Innovation Management*, No. 3, pp. 134-152. [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_006.003\\_0006](https://doi.org/10.24840/2183-0606_006.003_0006)
- Sabrina Korreck** (2018), Opening up Corporate Foresight: What Can We Learn from Open and User Innovation?, *Journal of Innovation Management*, No. 3, pp. 153-177. [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_006.003\\_0007](https://doi.org/10.24840/2183-0606_006.003_0007)
- A. Kurtov, O. Polikashyn, I. Potikhenskiy, V. Aleksandrov** (2017), "Ekspertni otsinky. Metod «Delphi» yak tehnologiya pryynyattya upravlins'kykh rishen" [Expert assessments. The Delphi method as a technology for managerial decision making], *Collection of scientific works of KNUAF*, No.1(50). – pp. 118-122.
- V. Horbatenko, I. Petrenko** (2008), "Metod „Delphi” ta spetsyfyka yoho zastosuvannya u prohoznykh rozrobkakh" [The Delphi method and the specifics of its application in predictive development], *Political management*, No.6. – pp. 174-182.
- Anthony F Jorm** (2015), Using the Delphi expert consensus method in mental health research, *The Australian & New Zealand Journal of Psychiatry*. No.10(49). pp. 887-897. <https://doi.org/10.1177/0004867415600891>
- Richard Skinner; R. Ryan Nelson; Wynne W. Chin and Lesley Land** (2015), The Delphi Method Research Strategy in Studies of Information Systems, *Communications of the Association for Information Systems*. No.2(37), pp. 31-63. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.03702>
- A.F.Polegen'ko, K.B. Krukovskiy-Sinevich, O.P. Korostelov** (2011), "Metod analiza ierarhiy. Nekotoryye aspekty prakticheskogo primeneniya", [Hierarchy Analysis Method. Some aspects of practical application], Kyiv: CRI AME AFU, 154 p.
- T. Saaty** (1993), "Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarhiy" [Decision making. Analytic hierarchy process], Moscow: Radio and communication, 278 p.
- Ossadnik W., Schinke S., Kaspar R.** (2015), Group Aggregation Techniques for Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process: A Comparative Analysis, *Group Decision and Negotiation*, No. 2 (25), pp. 432-448. <https://doi.org/10.1007/s10726-015-9448-4>
- Enrique Mu, Milagros Pereyra-Rojas** (2017), Practical Decision Making, Springer, Cham, 111p. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-33861-3>
- Aristarkhov O., Bisyk S., Slyusar V.** (2019), "Otsinka vahomosti pokaznykiv bronetransportera za danymy opytuvannya z vykorystannyam metodu popamoho porivnyannya" [The evaluation of weighting factors of armored personnel carriers characteristics according to the questionnaire with usage of method of paired comparisons], *Weapons and military equipment*, No. 2, pp. 35-42. [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2\(22\).42-49](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2019.2(22).42-49)