



MODEL WYZNACZANIA PRZEŁOMOWYCH TECHNOLOGII OBRONNYCH

A MODEL OF DISRUPTIVE TECHNOLOGIES DETERMINATION FOR DEFENSE SPHERE

Artem KUPCHYN, PhD student

Author's e-mail address: kupchyn.artem@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2013-691X

Vladyslav SOTNYK, PhD, Senior Researcher

Author's e-mail address: Sotvladislav@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1094-6257

Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine

DOI 10.5604/01.3001.0015.2529

Streszczenie: W artykule opisano model wyznaczenia listy przełomowych technologii w sektorze obronnym oparty na aparacie logiki rozmytej. Zmiennymi lingwistycznymi wejściowymi są wskaźniki określające krytyczność technologii. Każdy wskaźnik wejściowy odzwierciedla obecność lub brak określonej cechy w ocenianej technologii, dlatego stosuje się prostą ocenę językową. Jednak dla większości wskaźników używane są tylko obiektywne dane statystyczne uzyskane bez udziału ekspertów. Zaproponowany model jest przedstawiony w postaci siedmiu układów wnioskowania rozmytego, które są ułożone hierarchicznie. Została opisana i udoskonalona metoda analizy bibliometrycznej służącej do określania perspektyw technologii. W wyniku rozmytej oceny określa się poziom krytyczności technologii. Proponuje się zastosowanie nowej zasady tworzenia listy technologii przełomowych i krytycznych.

Słowa kluczowe: technologie przełomowe, technologie krytyczne, prognozowanie, logika rozmyta, technologie obronne

1. Wprowadzenie

Ważnym etapem planowania gospodarczej polityki państwa jest określenie priorytetowych obszarów dla nauki i technologii. Osiągnięcia

Abstract: The paper describes a model determining the list of disruptive technologies in the defense sector based on the apparatus of fuzzy logic. Input linguistic variables are indicators that determine the criticality of technologies. Each input indicator reflects the presence or absence of a certain feature in the evaluated technologies, so a simple linguistic evaluation is used. However, for the most part only objective evaluations are used without the expert's opinion. The proposed model is presented in the form of seven fuzzy inference systems, which are arranged hierarchically. The method of bibliometric analysis for determining the prospects of technologies is described and improved. The level of technologies criticality is determined as a result of fuzzy evaluation. It is proposed to apply a new principle of technologies selection as disruptive or critical ones.

Keywords: disruptive technologies, critical technologies, foresight, fuzzy logic, defense technologies

1. Introduction

Determination of scientific and technological priorities is an important stage in planning the economic policy of the state.

naukowe oraz opracowania nowych technologii stanowią solidną bazę rozwoju gospodarczego państwa.

Ostatnie opracowania technologiczne są w większości przypadków wykorzystywane w sferze militarnej. Możliwości obronne są uzależnione proporcjonalnie od technicznego wyposażenia wojsk. Jest oczywiste, że zaawansowane opracowania militarne nie będą dostępne na wolnym rynku w najbliższej przyszłości. Jest to powód dla każdego państwa do stworzenia wykazu pewnych naukowych i technologicznych obszarów, lub indywidualnych technologii, jakie muszą bezwzględnie zostać opracowane i wdrożone do produkcji.

Nowa koncepcja strategicznie ważnych technologii znajduje ostatnio szerokie uznanie. W uzupełnieniu do wykazu technologii krytycznych (Critical Technologies - CT) niektóre państwa określają wykaz technologii przełomowych (Disruptive Technologies - DT). W związku z tym organizacja NATO (Science and Technology Organization - STO) opublikowała sprawozdanie "Kierunki rozwoju nauki i technologii 2020-2040", gdzie są pokazane wyniki analiz trendów technologicznych oraz osiągnięcia nauki światowej [1]. Określenie takich trendów jest ważnym krokiem w tworzeniu priorytetów strategicznych w zakresie opracowania uzbrojenia nie tylko dla państw NATO ale również dla krajów partnerskich. Ta analiza pozwala na określenie perspektywicznych technologii w sferze militarnej oraz określa potencjalny wpływ na zdolności obronne.

Lista CT jest inna dla każdego kraju, ale koncepcja DT jest szersza. Taka lista DT jest rezultatem światowych osiągnięć naukowych. Są to technologie lub odkrycia naukowe które mogą mieć zasadniczy lub nawet rewolucyjny wpływ na funkcje obronne, bezpieczeństwa lub przedsiębiorczości [2].

Identyfikacja przełomowych technologii w odpowiednim czasie oraz ich dalszy rozwój może zapewnić nie tylko rozwój gospodarczy poszczególnych państw, ale również przodujące pozycje na międzynarodowej arenie militarno-

Scientific achievements and the development of new technologies create a powerful base for economic growth of the state.

The latest technological developments are used in the military sphere in most cases. Defense capabilities are proportionally dependent on the technological equipment of troops. It is clear that advanced military developments will not be available on the free market in the near future. That is why there is a need for each country to create a list of certain scientific and technological areas or individual technologies that must be developed and implemented in the production.

Recently, the new concept of strategic important technologies is becoming more common. In addition to the list of critical technologies (CT) some countries determine the list of disruptive technologies (DT). Thus, the NATO Science and Technology Organization (STO) has published a report "Science & Technology Trends 2020-2040", which shows the results of the analysis of technological trends and achievements of world science [1]. Identifying such trends is an important step in formation of strategic priorities in the field of armaments development, not only for NATO's countries but also for partner's countries. The analysis allows to identify perspective technologies in military sphere and determine potential impact on defense capabilities.

The list of CT is different for each country, but DT is a broader concept. The list of DT is the result of world science achievements. They are technologies or scientific discoveries that are expected to have a major or perhaps revolutionary effect on defense, security or enterprise functions [2].

Timely detection of disruptive technologies and their further development will ensure for the respective countries not only economic growth and technological inde-

technicznej.

Zazwyczaj prognozowanie technologiczne jest realizowane poprzez badanie eksperckie [3]. Oczywiście, zazwyczaj wykorzystywane subiektywne opinie zawsze będą obarczone pewnym błędem. Zastosowanie różnych metod eksperckich jedynie redukuje ten błąd, ale nie eliminuje go całkowicie.

Autorzy niniejszego opracowania proponują pewien nowy model prognozowania technologicznego dla DT w sferze obronnej, który jest oparty na logice rozmytej. Taki model wykorzystuje oceny lingwistyczne, które odzwierciedlają obecność lub brak pewnej cechy w ocenianej technologii.

Zaproponowany model nie wykorzystuje metod przeglądu eksperckiego, lecz jest oparty na obiektywnych danych. Taki sposób rozwiązuje kwestię subiektywnego błędu w podejmowaniu decyzji.

Aktualność. Technologiczna przewaga systemów uzbrojenia zawsze stanowiła główną część konfrontacji zbrojnej. Najnowsze opracowania militarne nie pojawiają się natychmiast, a zatem kwestia prognozowania technologicznego zawsze była i pozostanie aktualna. Przygotowanie wykazu przełomowych lub krytycznych technologii w odpowiednim czasie oraz wysokiej jakości umożliwia zbudowanie zaawansowanych systemów uzbrojenia dla symetrycznej odpowiedzi na agresję zbrojną prawdopodobnego przeciwnika.

Celem niniejszej pracy jest opracowanie pewnego modelu podejmowania decyzji dla określenia DT w sferze obronnej na bazie aparatu logiki rozmytej. Taki wykaz DT powinien być podstawą dla projektowania perspektywicznego uzbrojenia oraz najnowszych technik wojennych.

2. Analiza ostatnich badań i publikacji

Identyfikacja technologii mogących mieć przełomowe znaczenie jest coraz częściej przedmiotem badań. Nowy naukowy paradygmat formuje procesy, a etapy rozwoju techno-

pendence, but also advanced positions in the international military-technical arena.

Usually technological forecasting is done by expert survey [3]. Obviously, subjective opinion usually used will always have some error. The application of different expert's methods only reduces the error, but does not completely remove it.

The authors of the article propose a new model of technological foresight for DT in defense sphere based on fuzzy logic. The model uses linguistic evaluations which reflect the presence or absence of a certain feature of the evaluated technology.

The proposed model does not use expert survey methods, but is based on objective data. This way solves the issue of subjective error in decision making.

Topicality. The technological advantage of weapons systems has always been the main part of armed confrontation. The latest military developments do not appear instantly, so the issue of technological foresight in the defense sector has always been and will always be relevant. Timely and high-quality formation of the disruptive or critical technologies list makes it possible to create advanced weapons systems for a symmetrical response to the armed aggression of a probable enemy.

The **purpose** of the work is developing a decision-making model for the DT determination in the defense sphere based on the apparatus of fuzzy logic. The list of DT should be the baseline for designing the perspective armaments and newest war techniques.

2. Analysis of Recent Researches and Publications

The identification of technologies which will have a disruptive effect is becoming the focus of research more and more frequently.

logii są studiowane [4].

Prace [1-2] stwierdzają, że DT prawdopodobnie wywrze rewolucyjny wpływ na sferę technologii oraz otworzy nowy cykl technologiczny, a także dokona radykalnej zmiany tego rynku.

Obecnie trwa szeroka dyskusja w kręgach akademickich nad teorią DT (przełomowe innowacje). Tak więc, w [5] stwierdzono, że ta teoria jest podstawą do studiowania wpływu DT na zmiany technologiczne w przedsiębiorstwach lub w różnych dziedzinach przemysłu. Jednakowoż, panuje obecnie wysoki stopień niezrozumienia podstawowych założeń tej teorii wśród społeczności naukowej [6].

Badacze często zamieniają rewolucyjny charakter zmian z prostym skokiem lub wzrostem pewnego zjawiska. Christensen, który jest jednym z założycieli teorii przełomowych innowacji, całkiem jasno nakreśliła tę tezę o niezrozumieniu podstawy tej teorii [7]. Większość publikacji naukowych należy do kategorii artykułów przeglądowych, które nie opisują szczegółowej procedury wyboru poszczególnych technologii do listy przełomowych [8].

Publikacje o zawężonym profilu dotyczące DT można czasami znaleźć w naukowych bazach danych. Przykładowo, praca [9] identyfikuje takie technologie, które mogą mieć znaczący wpływ na przemysł kosmiczny. Oczekuje się, że mogą one poprawić efektywność przemysłu kosmicznego, zredukować koszt badań oraz doprowadzić do znaczącej poprawy w obecnym stanie technologii kosmicznych.

Niektórzy naukowcy reprezentują całkowicie globalne podejście do identyfikacji DT. Główną cechą DT jest jakościowy poziom w progresywnym rozwoju wszystkich dziedzin społeczeństwa oraz przejście do nowego cyklu ewolucji [10]. W pracy [11] stwierdzono, że DT powstają jako rezultat badań interdyscyplinarnych lub połączenia wielu technologii. Jednocześnie, jest raczej trudno przewidzieć prawdopodobieństwo połączenia niektórych technologii.

Kwestie metodologiczne dotyczące identyfikacji technologii do listy przełomowych nie

A new scientific paradigm is forming the processes and stages of technology development have been studied [4].

In [1-2] it was determined that DT will probably have a revolutionary impact on the technological sphere, open a new technological cycle and radically change the market.

There is a wide-ranging discussion in academic community about the theory of DT (disruptive innovations). Thus, in [5] it is noted that the theory is a base for studying the impact of DT on technological changes in enterprises or industries. But, there is a high degree of misunderstanding of the basic principles of the theory in the scientific community [6].

Researchers often replace the revolutionary nature of change with a simple jump or increase in a certain effect. Christensen, who is one of the founders of disruptive innovations theory, quite clearly traces the thesis about the misunderstanding of the theory basis [7]. The most of scientific papers are review articles and do not describe the detailed procedure for selecting specific technologies for the list of disruptive ones [8].

Narrow-profile publications about DT can sometimes be found in scientific databases. For example, work [9] identifies the technologies that can have a huge impact on the space industry. They are expected to improve the efficiency of the space industry, reduce research costs and lead to a significant improvement in the current level of space technologies.

Some scientists take a fairly global approach to DT identification. The main feature for DT is the qualitative level in the progressive development of all spheres of society and the transition to a new cycle of evolution [10]. In [11] it is noted that DT are formed as a result of interdisciplinary researches or merger of several technologies. At the same time, it is quite difficult to forecast the probability of combining some technologies.

Methodological issues of technologies identification to the list of disruptive ones are

zawsze są przedstawiane w artykułach naukowych pomimo szerokiej dyskusji oraz znaczącej liczby publikacji naukowych. Niniejszy artykuł oznacza nowy sposób opracowania listy DT w sektorze obronnym.

3. Struktura modelu

Proponowany model stanowi pewną hierarchiczną strukturę podejmowania decyzji określających krytyczny poziom technologii. W tym przypadku, wyższy poziom krytyczności jest uważany za pewną cechę przełomowości technologicznej. Będzie to przedmiotem poniższej dyskusji.

3.1. Opis modelu

Rozważmy ten zaproponowany model w warunkach hierarchii podejmowania decyzji. Zatem, dwa ogólne wskaźniki ("efekt przełomowości" i "korzystność ekonomiczna") są uwzględnione, aby określić poziom krytyczności technologicznej. Pierwszy określa oczekiwania, a drugi zdolności (rys. 1).

Ocena dla wskaźnika "Korzystności ekonomicznej" zależy od poziomu naukowego i technologicznego krajowej bazy naukowo-produkcyjnej i poziomu kwalifikacji specjalistów naukowych i przemysłowych. Oczekiwane ilości produkowanych wyrobów są także brane pod uwagę. Odzwierciedla to redukcję kosztu opracowania w końcowym produkcie. Tak więc, korzystność ekonomiczna wzrasta z ilością produkowanych wyrobów.

"Potencjał naukowy i technologiczny" może być oceniony i scharakteryzowany przez prowadzenie niezbędnych R&D prac dla opracowania technologii za pomocą pewnych cech takich jak dostępność i adekwatność personelu naukowego oraz technicznej bazy badawczej i testującej. Możliwości przemysłu do opracowania danej technologii są oceniane oddzielnie. Uwzględnia się dwie cechy: dostępność wykwalifikowanych pracowników oraz wyposażenia technologicznego.

not always described in scientific papers despite the wide discussion and a significant number of scientific papers. This article majors in a new way of forming a DT list in defense sector.

3. Design of the Model

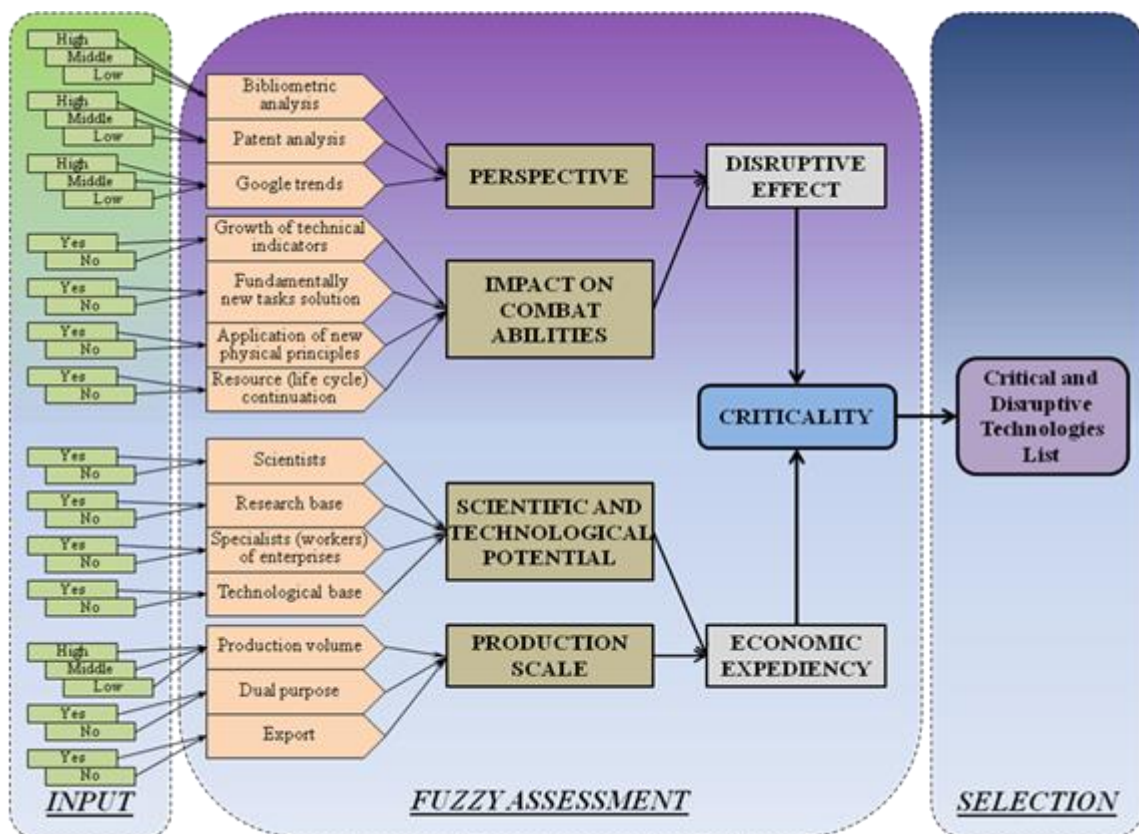
The proposed model is a hierarchical structure of decision-making to determine the technologies criticality level. In this case, a higher level of criticality is considered as a feature of technological disruptiveness. This will be discussed below.

3.1. Description of the model

Let's consider the proposed model in terms of decision-making hierarchy. Thus, two global indicators are taken into account ("Disruptive effect" and "Economic expediency") to determine the technological criticality level. The first reflects the desire and the second – the ability (Fig. 1).

The assessment for the indicator "Economic expediency" depends on the scientific and technological level of domestic research and production base, the level of scientific and industrial specialist's qualification. Also the expected numbers of manufactured products are considered. It reflects the development cost reduction in the finished product. Then, the economic expediency increases with the number of manufactured products.

"Scientific and technological potential" can be assessed and characterized to conduct the necessary R&D for technologies development by some features like the availability and adequacy of scientific personnel, research and testing technical base. Industrial capacities for the development of a certain technology are assessed separately. It considers two features: available skilled workers and technological equipment.



High – Wysoki

Middle – Średni

Low – Niski

Yes – Tak

No – Nie

Bibliometric analysis – Analiza bibliograficzna

Patent analysis – Analiza patentowa

Google trends – Trendy w Google

Fundamentally new tasks solution – Fundamentalnie nowe rozwiązanie zagadnień

Application of new physical principles – Zastosowanie nowych zasad fizycznych

Resource (life cycle) continuation – Kontynuacja resursów (cyklu eksploatacji)

Scientists - Naukowcy

Research base – Baza naukowa

Specialists (workers) of enterprises – Specjaliści (pracownicy) przedsiębiorstw

Input – Wejście

Technological base - Baza technologiczna

Production volume – Wielkość produkcji

Dual purpose – Podwójne przeznaczenie

Export – Eksport

Perspective – Perspektywa

Impact on combat abilities – Wpływ na zdolności bojowe

Scientific and technological potential – Potencjał naukowy i technologiczny

Production scale – Skala produkcji

Disruptive effect – Efekt przełomowości

Criticality - Krytyczność

Economic expediency – Korzystność ekonomiczna

Critical and disruptive technologies list – Lista krytycznych i przełomowych technologii

Fuzzy assessment – Ocena rozmyta

Selection - Zestawienie

Rys. 1. Schemat strukturalno-logiczny dla opracowania listy technologii przełomowych

Fig. 1. Structural and logical scheme for disruptive technologies list formation

Jednym z kierunków dalszych badań jest opracowanie dodatkowych systemów wnioskowania rozmytego dla wskaźników wejściowych tej grupy. Dla przykładu, podział wejściowego wskaźnika "Naukowcy" może prowadzić do powstania takich nowych wskaźników takich jak "Doświadczenie w prowadzeniu badań w określonym temacie", "Dostępność artykułów naukowych", "Stopień naukowy", "Stanowisko akademickie" oraz innych. Dalsza dekompozycja wskaźników wejściowych w niniejszym artykule nie będzie rozpatrywana.

Jeśli "Potencjał naukowy i technologiczny" odzwierciedla zdolność, wówczas "Skala produkcji" pokazuje korzyści ekonomiczne. Określenie efektu ekonomicznego w wartościach absolutnych jest prawie niemożliwe i dlatego proponuje się aby uwzględnić ilość produktów (skala produkcji), jaka jest przewidywana do produkcji. Ten wskaźnik posiada bezpośredni wpływ na wykonalność ekonomiczną. Jeśli przewidywana ilość produktów jest duża, wówczas koszt zwrotu opracowania technologii jest wysoki. Podobnie, trzy wskaźniki wejściowe są rozważane - "Wielkość produkcji dla krajowego sektora obronnego", "Przynależność do grupy wyrobów podwójnego przeznaczenia" oraz "Możliwość sprzedaży zagranicznej".

Podwójne przeznaczenie danego wyrobu oraz możliwość sprzedaży zagranicznej są określone w miarę prosto i posiadają tylko ocenę binarną (tak lub nie). Jednakże, odpowiedź na pytanie dotyczące wielkości produkcji jest dość trudna. Dlatego proponuje się, aby dokonać estymacji "Wielkości produkcji dla krajowego sektora obronnego" zgodnie z następującymi zasadami:

- niska, jeśli opracowana technologia prowadzi do wytworzenia pojedynczego produktu;
- średnia, jeśli opracowana technologia będzie zastosowana do produkcji wyrobów dla jednego rodzaju sił zbrojnych;
- wysoka, jeśli będzie to podstawą do produkcji wyrobów dla całości sił zbrojnych lub innych struktur.

Przewiduje się, że „Przełomowy efekt” ma być uzyskany z zastosowania takiej tech-

One of the directions of further research is the development of additional fuzzy inference systems for the input indicators of this group. For example, the decomposition of the input indicator "Scientists" can create such new indicators as "Experience in conducting research on a particular topic", "Availability of scientific papers", "Scientific degree", "Academic rank" and others. In this paper, further decomposition of input indicators will not be considered.

If "Scientific and technological potential" reflects ability, then "Product scale" shows economic benefit. In absolute values, it is almost impossible to determine the economic effect, so it is proposed to take into account the number of products (product scale) which is projected to be produced. This indicator has a direct proportional effect on economic feasibility. If the projected numbers of products are great, then the recovery cost of technology developing is high. Accordingly, three input indicators are considered - "Volume of production for the domestic defense sector", "Belonging to a group of dual purpose goods" and "Opportunity to sell abroad".

The dual purpose of the product and the possibility of selling abroad are determined quite simply and have only a binary evaluation (yes or no). However, it is quite difficult to answer the question about the volume of production. Therefore, it is proposed to estimate the "Volume of production for the domestic defense sector" according to the following principle:

- low, if the developed technology will lead to a single product release;
- medium, if the developed technology will be implemented to the production of products for one kind (type) of the Armed Forces;
- high, if it will be base for creation the products for all Armed Forces or other structures.

The "Disruptive effect" is projected to be received from the technology imple-

nologii w perspektywicznych systemach uzbrojenia. Jest to oceniane przez dwa pośrednie wskaźniki - "Perspektywa" i "Wpływ na zdolności bojowe".

Proponuje się aby "Perspektywa" była oceniana przez poziom publikacji i aktywność patentową, a także stopień zainteresowania technologią. Podobnie, wykorzystujemy trzy wskaźniki wejściowe: analiza bibliograficzna, analiza patentowa i analiza aktywności poszukiwawczej.

"Wpływ na zdolności bojowe" jest oceniany przez cztery wskaźniki wejściowe: poprawa charakterystyk taktycznych i technicznych, rozwiązywanie fundamentalnie nowych zadań, zastosowanie nowych zasad fizycznych oraz przedłużanie czasu eksploatacji uzbrojenia. Te wskaźniki prognozują cechy przyszłych systemów uzbrojenia.

Wskaźniki wejściowe zostały zdefiniowane w taki sposób, że ocena technologii nie wymaga zaangażowania grup eksperckich. Dlatego większość wskaźników posiada binarne estymacje, a taka ocena może być prowadzona bezpośrednio przez badacza w oparciu o dostępne statystyki i inne osiągalne dane.

Jednakowoż, ocena pośredniego wskaźnika "Wpływ na zdolności bojowe" jest najbardziej złożona i w dalszym ciągu wymaga lingwistycznej oceny wysoko kwalifikowanego specjalisty w zakresie badanej technologii.

W celu wyznaczenia poziomu perspektywy dla wskaźników wejściowych dotyczących trendów Google, bibliograficznych oraz analizy patentowej konieczne jest wykonanie pewnej ilości dodatkowych operacji, które są podobne dla wszystkich trzech wskaźników. Następująca procedura jest opisana na przykładzie bibliografii.

3.2. Analiza bibliometryczna

Dla otrzymania obiektywnej oceny wystarczy uzyskanie informacji z dwóch niezależnych źródeł. W naszym przypadku będą to bazy danych "Scopus" i "WoS".

mentation into the perspective weapons. It is assessed by two intermediate indicators - "Perspective" and "Impact on combat abilities".

"Perspective" is proposed to be assessed by the level of publications and patents activity, and the level of attention to technology. Accordingly, we use three input indicators: bibliometric analysis, patent analysis and search activity analysis.

"Impact on combat abilities" is assessed by four input indicators: the growth of tactical and technical characteristics, solution of fundamentally new tasks, application of new physical principles and extending the service life of weapons. These indicators predict features of promising weapons.

The input indicators were defined in such a way that technologies assessment did not require the involvement of expert groups. Therefore, most indicators have binary estimates and the assessment can be conducted by the researcher himself, based on available statistical and other open data.

However, the assessment of the intermediate indicator "Impact on combat abilities" is the most complex and still requires a linguistic assessment of a highly qualified specialist in the field of researched technology.

To determine the level of perspective for the input indicators of Google trends, bibliometric and patent analysis, it is necessary to perform a number of additional operations that are similar for all three indicators. The following procedure is described on the example of bibliometrics.

3.2. Bibliometric analysis

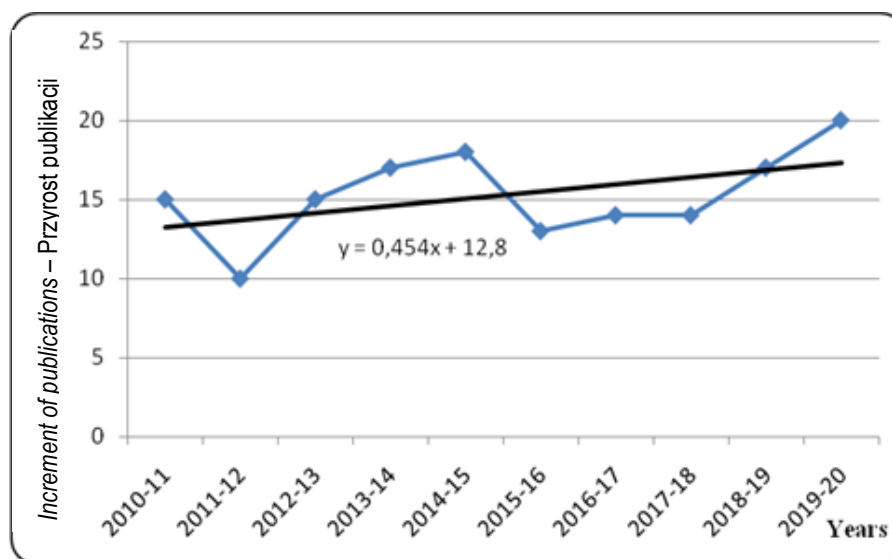
For an objective assessment, it is sufficient to obtain information from two independent sources. In our case, it will be databases "Scopus" and "WoS".

Poszukiwanie jest oparte na koincydencji nazwy ocenianej technologii ze słowami kluczowymi publikacji naukowych oraz ich tytułami za ostatnie 10-15 lat. Określamy ilość publikacji w ciągu roku, obliczamy przyrost i tworzymy odpowiedni wykres. Wówczas możemy aproksymować ten wykres do pewnej funkcji liniowej.

Rysunek 2 pokazuje wyraźnie tę procedurę w oparciu o abstrakcyjne estymacje.

The search is based on the coincidence of the evaluated technology name with the keywords of scientific articles and their titles for the last 10-15 years. We determine the number of publications by years, calculate the increment and build an appropriate graph. Then we can approximate the graph to a linear function.

Figure 2 clearly shows this procedure based on abstract estimates.



Rys. 2. Funkcja aproksymująca wzrost publikacji

Fig. 2. Approximate function of publication growth

Otrzymana funkcja ($y = kx + b$) pokazuje dynamikę aktywności publikacyjnej poprzez współczynnik k . Jeśli $k = 0$, wówczas przyrost ilości publikacji jest stały, co oznacza, że każdego roku ilość artykułów wzrasta w przybliżeniu o taką samą ilość. Jeśli $k < 0$, wówczas aktywność publikacyjna jest niska. Odpowiednio, jeśli $k > 0$, to aktywność publikacyjna jest wysoka. W celu rozszerzenia przedział rozmycia proponuje się rozpatrywać zakres przedziału stabilności $[-0.2; 0.2]$ (jest to hipoteza dla niniejszej analizy).

Dla pozostałych wskaźników wejściowych, technologie są oceniane jednoznacznie (tak lub nie), zgodnie z obecnością danej cechy.

Zatem, na wejściu modelu otrzymuje się jednoznaczne wartości zgodnie z ocenami

The obtained function ($y = kx + b$) shows the dynamics of publishing activity by the coefficient k . If $k = 0$, then the growth in the number of publications is stable, i.e. every year the number of articles increases by approximately the same number. If $k < 0$, then the publishing activity is low. Accordingly, if $k > 0$, so the publishing activity is high. In order to expand the fuzzy interval, it is proposed to consider the range of stability interval $[-0.2; 0.2]$ (this is the hypothesis of the study).

For the other input indicators, technologies are evaluated unambiguously (yes or no), according to the presence of a certain feature.

Thus, the clear values according to the linguistic evaluations are given to the input

lingwistycznymi (tabela 1).

of the model (table 1).

Tabela 1. Tabela zgodności dla oceny lingwistycznej i precyzyjnej
 Table 1. Correspondence table of linguistic and crisp evaluations

Oceny lingwistyczne <i>Linguistic evaluations</i>		Oceny precyzyjne <i>Precise (crisp) evaluations</i>
Wysoka - <i>High</i>	TAK - <i>YES</i>	1
Średnia - <i>Medium</i>		0,5
Niska - <i>Low</i>	NIE - <i>NO</i>	0

Opisaliśmy proces podejmowania decyzji dla określenia poziomu krytyczności technologii zgodnie z hierarchiczną strukturą. Obecnie rozważmy szczegółowo jej funkcjonalne sedno.

3.3. Funkcjonalne sedno wnioskowania rozmytego

Dokonyamy podziału proponowanego modelu na trzy funkcjonalne poziomy (etapy):

- pierwszy poziom (wejście) – lingwistyczna ocena technologii poprzez wskaźniki wejściowe;
- drugi poziom (ocena rozmyta) – logika rozmyta jest wykorzystywana w procesie estymacji wejściowych;
- trzeci poziom (wybór) – wybór technologii do listy przełomowych lub krytycznych.

Ocena lingwistyczna jest realizowana osobiście przez badacza lub wykwalifikowanego specjalistę. Rozłożenie na czternaście wejść oraz możliwość wyłącznie binarnych estymacji (dla większości przypadków) redukuje błąd badacza (eksperta). Etap wejściowy jest całkiem prosty, zatem skoncentrujemy się na ocenie rozmytej.

Funkcjonalnie, model zawiera siedem systemów wnioskowania rozmytego (FIS). Pierwsze cztery wejściowe FIS są systemami oceny dla pośrednich wskaźników "Perspektywa", "Wpływ na zdolności bojowe", "Potencjał naukowy i technologiczny" oraz "Skala produkcji". Wejścia tych systemów są oce-

We described the decision-making process for determination of technologies criticality level in accordance to the hierarchical structure. Now consider its functional essence in detail.

3.3. Functional essence of fuzzy inference

We divide the proposed model into three functional levels (stages):

- the first level (input) - linguistic assessment of technologies by input indicators;
- the second level (fuzzy assessment) - fuzzy logic is applied to process the input estimations;
- the third level (selection) - technologies selection to the list of disruptive or critical.

Linguistic assessment is carried out personally by the researcher or qualified specialist. Decomposition into fourteen inputs and the possibility only of binary (in most cases) estimates reduces the researcher (expert) error. The input stage is quite simple, so let's focus on the fuzzy evaluation.

Functionally, the model consists of seven fuzzy inference systems (FIS). The first four input FIS are the assessment systems for the intermediate indicators "Perspective", "Impact on combat abilities", "Scientific and technological potential" and "Production scale". The inputs of these systems are evaluated by input indicators.

niane przez wskaźniki wejściowe. Jak wspomniano powyżej, większość wskaźników wejściowych posiada wynik 0 lub 1. Jedynie cztery wskaźniki wejściowe są oceniane według trzech kryteriów (Rys. 1).

"Przełomowy efekt" i "Korzystność ekonomiczna" tworzą FIS drugiego rzędu.

Zintegrowany wskaźnik "Krytyczność" jest wynikiem FIS trzeciego rzędu.

FIS "Perspektywa" ma trzy wejściowe zmienne lingwistyczne (LV) według trzech wskaźników wejściowych. Funkcje przynależności (MF) dla wejścia LV mają pojedyncze formy, MF dla wyjścia LV jest reprezentowane w formie funkcji Gaussowskiej (Rys. 3) [12]. Podstawa zasad jest przedstawiona w tabeli 2. Autorzy stosują typowe skróty dla wygodnego pisania zestawów terminów. Przykładowo, dla zestawów terminów {"niski", "średni", "wysoki"} lub {"mały", "średni", "wielki"} lepiej jest stosować typowe analogie {«N», «M», «P»} (negatywny, średni, pozytywny).

FIS "Wpływ na zdolności bojowe", "Potencjał naukowy i technologiczny" oraz "Skala produkcji" są zbudowane w podobny sposób.

Wyjście z FIS pierwszego rzędu stanowi wejście dla FIS drugiego rzędu ("Efekt przełomowy" i "Korzystność ekonomiczna").

Rozważmy zasadę funkcjonalną na przykładzie dla FIS "Efekt przełomowy". Rys. 1 pokazuje, że wejścia LV są zdefiniowane jako "Perspektywa" i "Wpływ na zdolności bojowe". Wejściowa MF dla FIS "Efekt przełomowy" nie może być reprezentowana poprzez pojedyncze funkcje ponieważ wartości wejścia LV nie są dyskretne (wejściowe LV dla FIS5 są wyjściowymi LV dla FIS1 i FIS2, które określają wartości niedyskretne). Proponuje się zastosowanie nowej zasady określania MF, która jest oparta na obliczeniach matematycznych, a nie na opiniach eksperckich.

As mentioned above, most of the input indicators have a score of 0 or 1. Only four input indicators are evaluated according to the three criteria (Fig. 1).

"Disruptive effect" and "Economic expediency" form a second-order FIS.

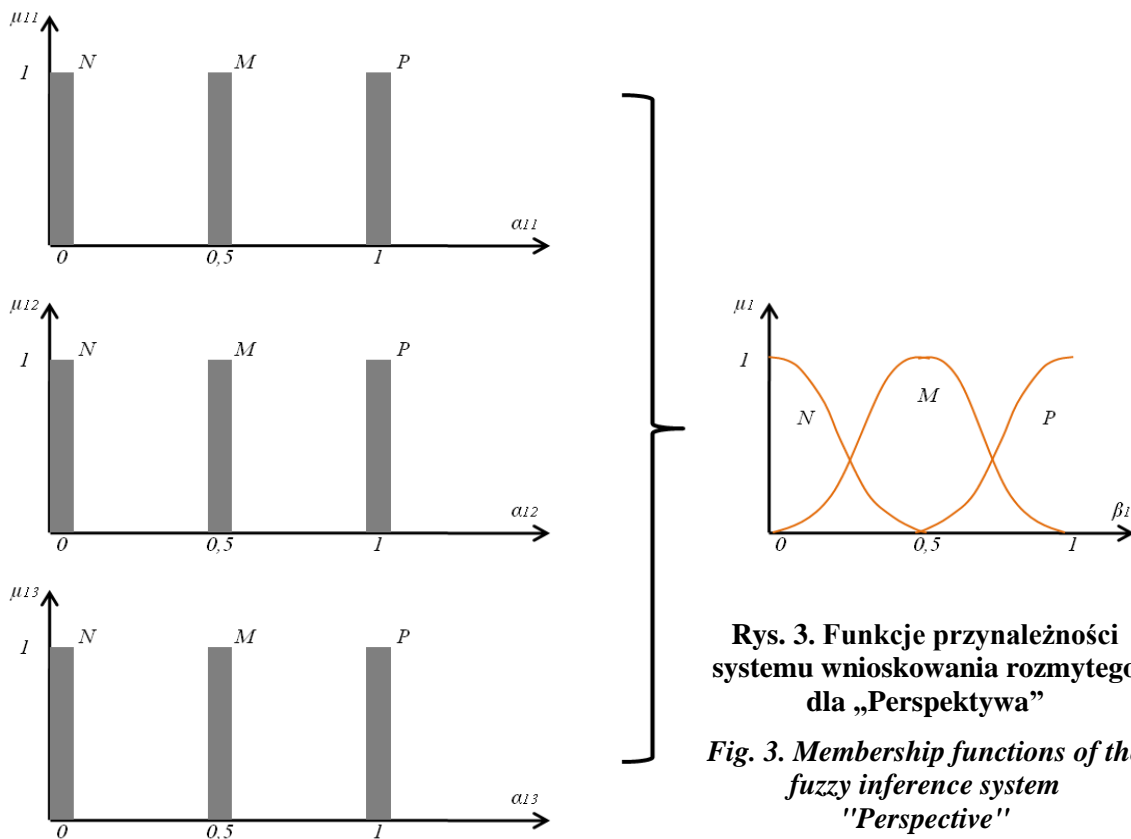
The integrated indicator "Criticality" is the result of FIS third order.

FIS "Perspective" has three input linguistic variables (LV) according to the three input indicators. Membership functions (MF) of input LV have the singleton forms, MF of the output LV is presented in the form of Gaussian function (Fig. 3) [12]. The rules base is presented in table 2. The authors use the common abbreviations for the convenience of term-sets writing. For example, for the term-sets {"low", "medium", "high"} or {"small", "medium", "large"} it is better to use the common analogue {«N», «M», «P»} (negative, middle, positive).

FIS "Impact on combat abilities", "Scientific and technological potential" and "Production scale" are designed likewise.

The output from the first order FIS is the input for the second order FIS ("Disruptive effect" and "Economic expediency").

Let's consider functional principle on the example of FIS "Disruptive effect". Fig. 1 shows that the inputs LV are defined as "Perspective" and "Impact on combat abilities". Input MF for FIS "Disruptive effect" cannot be represented as singleton functions, because the values of input LV are not discrete (input LV of FIS5 are the output LV of FIS1 and FIS2, which determine not discrete values). It is proposed to apply a new principle of MF determination, which is based on mathematical calculations, but not on the expert's opinions.



Rys. 3. Funkcje przynależności systemu wnioskowania rozmytego dla „Perspektywa”

Fig. 3. Membership functions of the fuzzy inference system "Perspective"

Tabela 2. Baza zasad systemu wnioskowania rozmytego dla "Perspektywa"

Table 2. Rules base for the fuzzy inference system "Perspective"

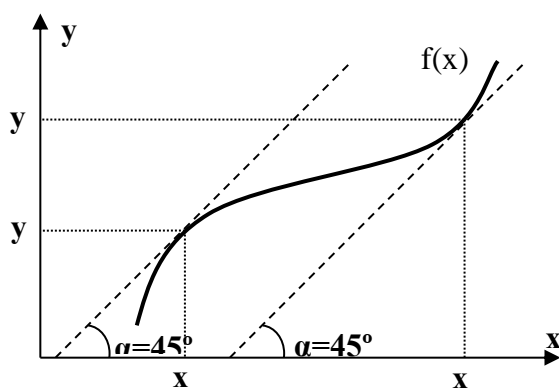
Zmienne lingwistyczne <i>Linguistic variables</i>		Zasady - Rules																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
		Zmienne lingwistyczne należące do warunków <i>Linguistic variables belonging to the terms</i>																										
Analiza bibliograficzna <i>Bibliometric analysis</i>	α_{11}	N	N	N	N	N	N	N	N	N	M	M	M	M	M	M	M	M	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Analiza patentowa <i>Patent analysis</i>	α_{12}	N	N	N	M	M	M	P	P	P	N	N	N	M	M	M	P	P	P	N	N	N	M	M	M	P	P	P
Wskaźnik trendów Google <i>Indicator for Google trends</i>	α_{13}	N	M	P	N	M	P	N	M	P	N	M	P	N	M	P	N	M	P	N	M	P	N	M	P	N	M	P
Pespektywa <i>Perspective</i>	β_1	N	N	M	N	M	M	M	M	N	M	M	M	M	M	M	P	M	M	M	M	P	M	P	M	P	P	P

3.3.1. Określenie funkcji przynależności

Technologie są rozmieszczone na osi rzędnych według wzrastającego porządku względem wartości wejściowych LV. Oś rzędnych reprezentuje wartość wejściowych LV. Zatem, możemy otrzymać aproksymowaną funkcję wielomianową, która będzie wzrastać monotonicznie. Metoda najmniejszych kwadratów wykorzystywana w niniejszej pracy jest najbardziej powszechną i skuteczną dla rozwiązywania zagadnień aproksymacji [13].

Wiemy, że przyrost funkcji i argumentu są równe w punkcie, gdzie pochodna danej funkcji jest równa jedności. Nazwa tego punktu nie jest powszechnym pojęciem i dlatego autorzy proponują wprowadzenie terminu "równoodległy punkt pochodnej" [14].

Jeśli funkcja aproksymująca jest reprezentowana przez wielomian trzeciego rzędu, wówczas mamy dwa równoodległe punkty (funkcja pochodnej jest drugiego stopnia, więc otrzymujemy dwa rozwiązania). Ta funkcja jest prezentowana na rys.4.



Rysunek 4 pokazuje, że występują dwa zmienne przedziały tej funkcji. W przedziale $x < x_1$ i $x > x_2$ przyrastanie funkcji zwiększa się bardziej niż przyrost argumentu, w przeciwieństwie do $x_1 < x < x_2$, gdzie przyrost funkcji zwiększa się nieznacznie w porównaniu z argumentem.

Funkcja aproksymująca może także by reprezentowana w innej postaci. W tym przypadku przyrost argumentu zwiększa się znacznie

3.3.1. Determination of the membership functions

The technologies are placed in ascending order by the input LV values on the abscissa. The ordinate axis presents the value of the input LV. Thus, we can get an approximate polynomial function that will be monotonically increasing. The least squares method used in this work is the most common and effective for solving approximation issues [13].

We know the function increment and the argument increment are equal in the point where the derivative of a function is equal to one. The name of this point is not a common concept, so the authors propose to introduce the term "equidistant point of derivative" [14].

If the approximate function is represented as a third degree polynomial function, then we have two equidistant points (the derivative function has the second degree, so we obtain two solutions). This function is presented in Fig.4.

Rys. 4. Funkcja aproksymująca wielomianu trzeciego stopnia

Fig. 4. Approximate polynomial third degree function

Figure 4 shows that there are two changing intervals of the function. On the interval $x < x_1$ and $x > x_2$ the function increment increases much more than the argument increment, in contrast to $x_1 < x < x_2$, where the function increment increases insignificantly in comparison with the argument.

The approximate function can also be represented in another form. In this case,

bardziej niż przyrost funkcji w przedziale $x < x_1$ i $x > x_2$.

Tak więc, dwie funkcje aproksymujące będą zawsze miały dwa przedziały zmienności.

Technologie przed punktem x_1 mają najniższy wynik, podczas kiedy technologie za punktem x_2 mają najwyższy. Proponuje się, aby rozpatrywać przedział pomiędzy tymi punktami jako przedział rozmycia. Nie ma znaczenia czy pierwszy lub drugi typ funkcji jest wykorzystywany, ponieważ w tej samej funkcji charakter jej zmienności jest różny w tych przedziałach.

W warunkach logiki rozmytej wartości wejściowe LV w punktach równoodległych mogą być wykorzystane do tworzenia zbiorów terminów i MF [15].

Teoria zbiorów rozmytych nie obliguje do wyboru rodzaju MF w sposób absolutnie jednoznaczny lub precyzyjny, ponieważ może to być określone w procesie jej aplikacji. W niniejszej pracy będzie wykorzystana trapezoidalna MF.

Po obliczeniu wartości wejściowych LV w punktach równoodległych można zbudować MF (rys. 5).

argument increment increases much more than the function increment on the interval $x < x_1$ and $x > x_2$.

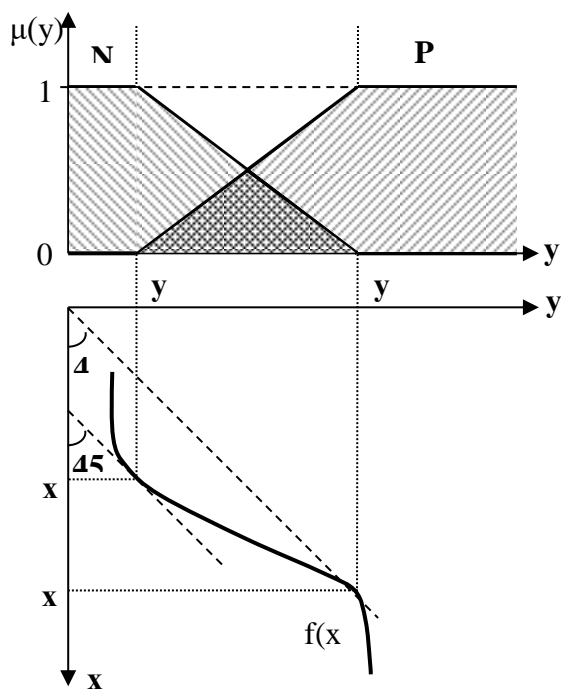
Nevertheless, both approximate functions will always have two intervals of changes.

Technologies before point x_1 have the lowest score, while technologies after point x_2 have the highest. It is proposed to consider the interval between these points as a fuzzy interval. It does not matter the first or second function type is used, because in the same function the nature of its change is different in these intervals.

Under conditions of fuzzy logic, the values of the input LV at equidistant points can be used to form term-sets and MF [15].

The theory of fuzzy sets does not oblige to choose the type of MF absolutely clearly or precisely, because in the process of its application it can be specified. Trapezoidal MF will be used in this work.

After the values of the input LV at equidistant points have calculated, we can design the MF (Fig. 5).



Rys. 5. Budowanie funkcji przynależności z dwóch terminów

Fig. 5. Membership function designing with two terms

Funkcja aproksymująca $f(x)$ z równoodległymi punktami x_1, x_2 jest pokazana w odwróconej postaci w dolnej części rys. 5. Oś rzędnych funkcji aproksymującej $f(x)$ jest osią odciętych dla MF $\mu(y)$ z wejść LV.

Zatem, mamy dwie wejściowe LV dla FIS "Przełomowy efekt" z dwoma terminami dla każdej. Wyjściowa LV jest reprezentowana przez trzy terminy, a baza zasad posiada jedynie cztery zasady. FIS "Korzystność ekonomiczna" jest zbudowana podobnie.

FIS trzeciego rzędu jest tylko jeden. Wyjściowe LV jest poziomem krytyczności technologicznej. W tym przypadku wejściowe LV dla FIS trzeciego rzędu są także wyjściowymi LV dla FIS drugiego rzędu. MF jest także zbudowana na nowej zasadzie.

3.3.2. Określenie krytyczności technologii

Wynik oceny rozmytej stanowi zintegrowaną estymację krytyczności technologii.

Należy zauważyć, że wskaźniki wejściowe zostały wybrane w taki sposób, aby zminimalizować ich korelację między sobą i zapewnić taki sam wpływ na ocenę. Dlatego, wszystkie wejścia posiadają taką samą wagę.

Byłoby słuszne, aby określić współczynnik wagowy dla "Perspektywa", "Wpływ na zdolności bojowe", "Potencjał naukowy i techniczny" oraz "Skala produkcji". Niniejszy artykuł jest bardziej metodologiczny, więc określanie wag będzie przedmiotem dalszych badań.

Otrzymane wagi muszą być uwzględniane przy obliczaniu wartości dla wejściowych LV z FIS drugiego rzędu. W oparciu o to wskaźniki "Przełomowy efekt" i "Korzystność ekonomiczna" będą otrzymywać w swoich estymacjach pewien komponent z poprzedniego poziomu. Dlatego, wejściowe LV dla FIS trzeciego rzędu będą mieć takie same wagi.

Ogólny widok aparatu logiki rozmytej jest pokazany na diagramie funkcjonalnym (rys. 6).

The approximate function $f(x)$ with equidistant points x_1, x_2 is shown in inverted form in the lower part of fig. 5. The ordinate axis of the approximate function $f(x)$ is the abscissa axis for MF $\mu(y)$ of the input LV.

Thus, we have two input LV for FIS "Disruptive effect" with two terms for each. The output LV is represented by three terms, and the rules base has only four rules. FIS "Economic expediency" is similarly designed.

Third-order FIS is only one. The output LV is the level of technologies criticality. In this case, the input LV for the third-order FIS are also the output LV for the second order FIS. MF is also built on a new principle.

3.3.2. Determination of the technologies criticality

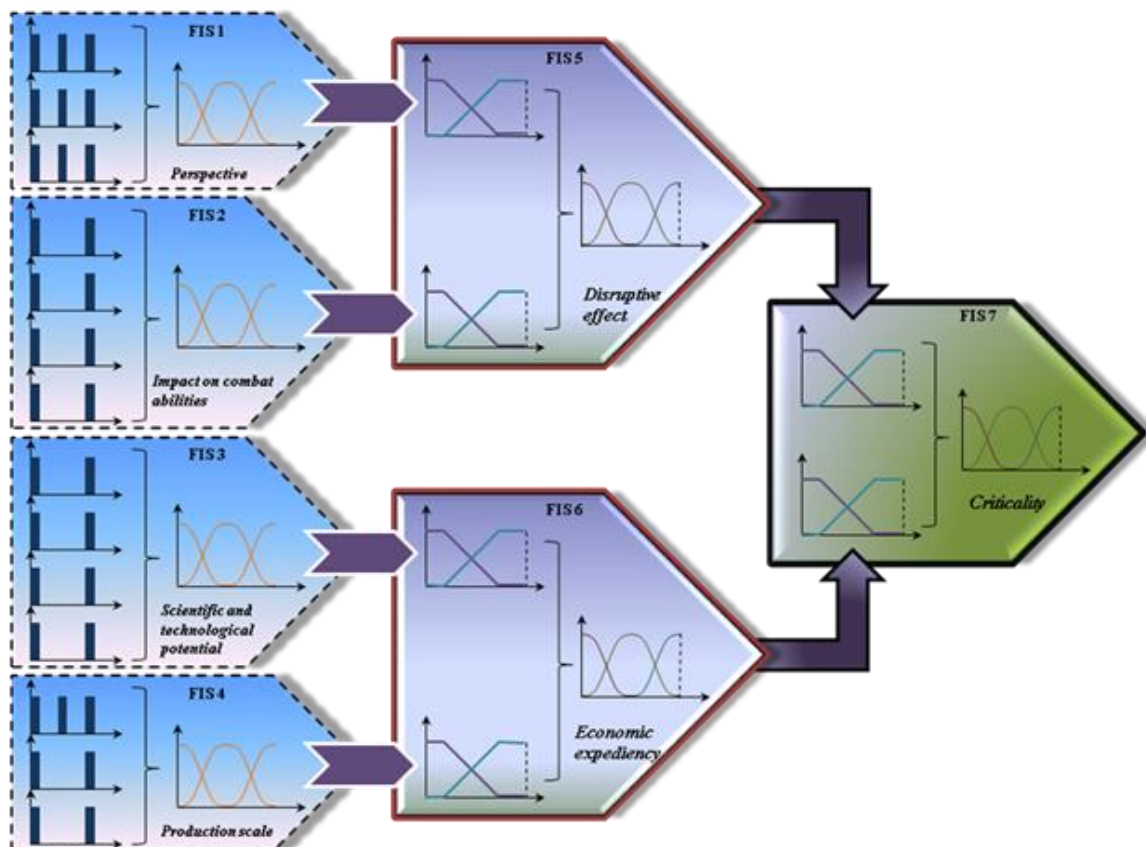
The result of fuzzy assessment is an integrated estimation of technologies criticality.

It should be noted that the input indicators were chosen in such a way as to minimize their correlation with each other and ensure the same impact on the assessment. Therefore, all inputs have the same weight.

It would be appropriate to determine the weight coefficient for "Perspective", "Impact on combat abilities", "Scientific and technological potential" and "Production scale". This article is more methodological, so weights determination will be done in the further researches.

The obtained weights must be taken into account for calculations of the values of the input LV second-order FIS. Based on this, the indicators "Disruptive effect" and "Economic expediency" will obtain in their estimates a certain component from previous level. Therefore, the input LV for the third-order FIS will have the same weights.

The general view of the fuzzy logic apparatus is shown in the functional diagram (Fig. 6).



Rys. 6. Schemat funkcjonalny oparty o logikę rozmytą

Fig. 6. Functional scheme based on fuzzy logic

3.4. Wybór technologii

Ostatnim etapem proponowanego modelu jest wybór technologii do listy krytycznych lub przełomowych.

Autorzy artykułu proponują nowe podejście koncepcyjne do strukturyzacji najbardziej znaczących technologii dla obrony państwa. Proponuje się, aby nie tworzyć oddzielnych list, ale jedną listę krytycznych i przełomowych technologii (CDT). CDT zawiera technologie strategicznie ważne, najbardziej obiecujące oraz rewolucyjne. Należy zauważyć, że lista CDT jest tworzona w horyzoncie czasowym 20 lat lub więcej i powinna być systematycznie uaktualniana.

Wybór ocenianych technologii do krytycznych lub przełomowych jest także oparty na zasadzie punktu równoodległego. Estymacje krytyczności technologii są otrzymywane na wyjściu FIS. Stanowią one podstawę do rankingu technologii. Następnie, zgodnie z

3.4. Selection of the technologies

The last stage of the proposed model is the selection of technologies to the list of critical or disruptive ones.

The authors of the article propose a new conceptual approach to structuring the most important technologies for state defense. It is proposed to form not separate lists, but one list of critical and disruptive technologies (CDT). CDT includes strategically important, most promising and revolutionary technologies. It should be noted that the list of CDT is created with a time horizon of 20 years or more and should be systematically updated.

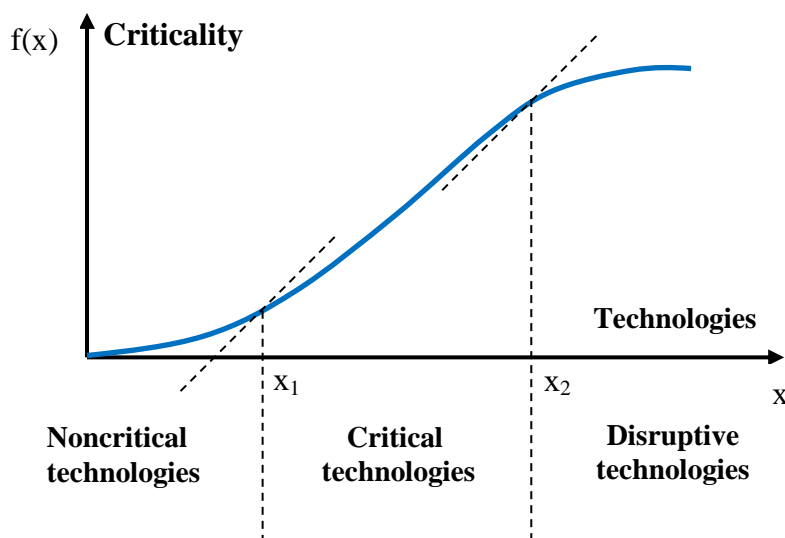
Selection of evaluated technologies to critical or disruptive is also based on equidistant point's principle. Estimations of the technologies criticality are obtained at the FIS output. They are the basis for technologies ranking. Next, according to the pre-

zasadą opisaną poprzednio w paragrafie 3.3.1, znajdujemy funkcję aproksymującą oraz punkty równoodległe.

Technologie, które znajdują się przed pierwszym punktem równoodległym są uważane jako niekrytyczne. Technologie za drugim punktem równoodległym są przełomowe. Pozostałe technologie, które są w środkowym zakresie są krytyczne (rys. 7).

viously described principle in paragraph 3.3.1, we find an approximate function and equidistant points.

Technologies that are placed before the first equidistant point are considered as uncritical. Technologies after the second equidistant point are disruptive. Other technologies that are in the middle range are critical (Fig. 7).



Rys. 7. Określenie listy technologii krytycznych i przełomowych

Fig. 7. Determining the critical and disruptive technologies list

4. Podsumowanie

W niniejszym artykule rozważany jest model określania technologii przełomowych w sferze obronnej na zasadzie logiki rozmytej. Obecność lub nieobecność pewnej cechy, która zapewnia binarną zmienność odpowiedzi, jest kryterium dla oceniających technologie. Jednoznaczna odpowiedź redukuje błąd subiektywny przy podejmowaniu decyzji.

Główną ideą jest znalezienie złotego środka pomiędzy tym czego chcemy a tym co możemy. Odpowiednio, dwa wskaźniki są wykorzystywane do tego: "Przełomowy efekt" i "Korzyść ekonomiczna", które są wynikiem splotu wskaźników wejściowych i pośrednich.

Ten model zawiera siedem systemów wnioskowania rozmytego. Każdy wskaźnik reprezentuje jeden system.

Zaproponowana została nowa zasada określania funkcji przynależności. Posiada ona przedziały funkcji przynależności, które są

4. Summary

The article considers the model of disruptive technologies determination for the defense sphere on the fuzzy logic basis. Criteria for evaluating technologies are the presence or absence of a certain feature that provides binary variability of the response. An unambiguous answer reduces the subjective error in decision-making.

The main idea is to find the "golden mean" between what you want and what you can. Accordingly, two indicators are used for this: "Disruptive effect" and "Economic expediency", which are the result of a convolution of input and intermediate indicators.

The model consists of seven fuzzy inference systems. Each indicator represents one system.

A new principle of membership function determination is proposed. It gets an objec-

obiektywnie matematycznie obliczone, poprzez wykorzystanie zasady punktów równoodległych.

Zostało opisane nowe podejście koncepcyjne do tworzenia listy przełomowych technologii. Proponuje się zdefiniowanie jednej listy krytycznych i przełomowych technologii. Opisana jest także procedura wyboru technologii do kategorii krytycznych lub przełomowych.

Dalszy kierunek badań w tej dziedzinie polega na zwiększeniu, poprawie lub rozbiciu wskaźników wejściowych. Drugi kierunek polega na opracowaniu sieci neuronowej opartej o zaproponowany model. Przy tym ważne jest, aby stworzyć pewną adekwatną uczącą próbkę dla sieci.

tive mathematical calculated intervals of membership function by the using the equidistant points principle.

A new conceptual approach to the formation of the disruptive technologies list is described. It is proposed to define one list of critical and disruptive technologies. The procedure for technologies selection to the category of critical or disruptive is also described.

The further research direction in this field is to increase, refine or decompose the input indicators. The second direction is the development of a neural network based on the proposed model. But, it is important to form an adequate teaching sample for the network.

Literatura / Literature

- [1] Reding, D.F., Eaton, J. (2020). Science & Technology Trends 2020-2040. NATO Science & Technology Organization, Office of the Chief Scientist, Brussels, Belgium. URL: https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/2020/4/pdf/190422-ST_Tech_Trends_Report_2020-2040.pdf
- [2] Slyusar, V., et al. (2020). Disruptive technologies in the defense sphere of Ukraine. Weapons and military equipment, 1(28),13-23. DOI:1034169/2414-0651.2020.4(28).13-23
- [3] Sotnyk, V., Rasstrygin, O., Kupchyn, A. (2020). Method of the critical technologies selection. Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence, 37(1), 67-76. DOI:10.33099/2311-7249/2020-37-1-67-76
- [4] Dedehayir O., Steinert M. (2016). The hype cycle model: A review and future directions. Technological Forecasting and Social Change, 108, 28-41. DOI:10.1016/j.techfore.2016.04.005
- [5] Danneels, E. (2004). Disruptive Technology Reconsidered: A Critique and Research Agenda. Journal of Product Innovation Management, 21, 246-258. DOI:10.1111/j.0737-6782.2004.00076.x
- [6] Christensen, C.M., et al. (2018). Disruptive Innovation: An Intellectual History and Directions for Future Research. Journal of Management Studies, 55(7), 1043-1078. DOI:10.1111/joms.12349
- [7] Christensen, C.M., et al. (2015). What Is Disruptive Innovation? URL: <https://hbr.org/2015/12/what-is-disruptive-innovation>
- [8] King, A., Baatartogtokh, B. (2015). How Useful is the Theory of Disruptive Innovation? MIT SLOAN MANAGEMENT REVIEW, 57(1), 76-90.

- [9] Enjie, L. (2017). Prospects for the Promotion and Application of Defense Disruptive Technology in Developing the Space Industry. Strategic Study of Chinese Academy of Engineering, 19(5), 74-78. [DOI:10.15302/J-SSCAE-2017.05.013](https://doi.org/10.15302/J-SSCAE-2017.05.013)
- [10] Potekhin N.A., Potekhin V.N. (2020). Scientific and technological foundations of a new socio-economic formation - an innovative type of reproduction. Management issues, 2(63), 24-38. [DOI:10.22394/2304-3369-2020-2-24-38](https://doi.org/10.22394/2304-3369-2020-2-24-38)
- [11] Kostoff, R.N., et al. (2004). Disruptive technology roadmaps. Technological Forecasting and Social Change, 71(1-2), 141-159. [DOI:10.1016/S0040-1625\(03\)00048-9](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00048-9)
- [12] Shtovba S. D. (2007). Designing Fuzzy Systems Using MATLAB. Moscow: Hot line - Telecom. 288 p.
- [13] Dehghan, M., Mohammadi, V. (2017). Error analysis of method of lines (MOL) via generalized interpolating moving least squares (GIMLS) approximation. Journal of Computational and Applied Mathematics, 321, 540-554. [DOI:10.1016/j.cam.2017.03.006](https://doi.org/10.1016/j.cam.2017.03.006)
- [14] Žlepalo, M.K., Jurkin, E. (2018). Equidistant Sets of Conic and Line. Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics, pp. 277-289. [DOI:10.1007/978-3-319-95588-9_22](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9_22)
- [15] Slyusar, V., et al. (2020). Method for determining membership function based on equidistant points. International Conference “Specialized and multidisciplinary scientific researches”, Amsterdam, The Netherland, pp. 27-30. [DOI:10.36074/11.12.2020.v2.07](https://doi.org/10.36074/11.12.2020.v2.07)

