



COMPARATIVE PEDAGOGY ПОРІВНЯЛЬНА ПЕДАГОГІКА.

UDC 51:37.02:376

DOI 10.35433/pedagogy.4(123).2025.15

IMPLEMENTATION OF THE EDUCATION 4.0 CONCEPT IN THE SYSTEM OF MATHEMATICAL TRAINING FOR STUDENTS WITH SPECIAL EDUCATIONAL NEEDS

I. G. Kravchuk*

The relevance of the study is determined by the growth of digitalization in education and the need to modernize mathematics teaching in special schools in accordance with the needs of students with special educational needs. Under contemporary conditions, the concept of Mathematics 4.0 emphasizes adaptive, personalized, and data-driven instructional models; however, their methodological implementation in special mathematics education remains insufficiently systematized. This necessitates a comprehensive scientific analysis of digital technologies as instruments for improving accessibility, effectiveness, and sustainability of mathematical knowledge formation.

The aim of the article is to provide scientific substantiation and systematization of approaches to the formation and development of mathematical knowledge of students with special educational needs in grades 5-6 of special education schools through the use of digital technologies within the framework of the Mathematics 4.0 concept.

Research methods included analysis and synthesis of scientific literature in mathematics didactics, special pedagogy, and digital education technologies; system-structural and comparative analysis; didactic modeling; and theoretical generalization of practical experience in the application of digital learning tools in special education settings.

The study identified the psychological and pedagogical prerequisites for the acquisition of mathematical knowledge by students with special educational needs in a digitalized educational environment. The didactic possibilities of digital technologies for personalizing learning, step-by-step knowledge formation, and formative assessment were established. The feasibility of using adaptive digital tools as an instrument for the controlled development of mathematical skills has been proven. The main scientific and practical problems of implementing digital technologies have been identified, in particular, the formalization of individualization, limited availability of adapted resources, digital inequality, and insufficient methodological readiness of teachers.

The conclusions indicate that the implementation of the Mathematics 4.0 concept in a special school is possible provided that digital technologies are integrated into a comprehensive methodological system with the leading role of the teacher and a focus on the individual learning dynamics of students. The use of digital tools contributes to increasing the effectiveness and practical significance of mathematical knowledge.

* Postgraduate Student
(Zhytomyr Ivan Franko State University)
ihorgtf@gmail.com
ORCID: 0009-0007-0575-1291

Prospects for further research include empirical evaluation of Mathematics 4.0 models in special education schools, development of criteria for measuring learning dynamics, and creation of standardized adaptive digital resources for mathematics education.

Keywords: digital learning environment, special education, adaptive learning, personalized learning pathway, mathematics didactics, formative assessment, learning analytics, inclusive technologies.

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ КОНЦЕПЦІЇ ОСВІТИ 4.0 У СИСТЕМУ МАТЕМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ УЧНІВ З ОСОБЛИВИМИ ОСВІТНИМИ ПОТРЕБАМИ

І. Г. Кравчук

Актуальність дослідження зумовлена зростанням цифровізації освіти та необхідністю модернізації викладання математики в спеціальній школі відповідно до потреб учнів з особливими освітніми потребами. У сучасних умовах концепція "Математика 4.0" актуалізує впровадження адаптивних, персоналізованих і даноорієнтованих освітніх підходів, однак їх методичне обґрунтування в спеціальній математичній освіті залишається фрагментарним. Це потребує цілісного наукового аналізу можливостей цифрових технологій як інструменту підвищення доступності, результативності та стійкості формування математичних знань.

Мета статті полягає в науковому обґрунтуванні й систематизації підходів до формування та розвитку математичних знань учнів з особливими освітніми потребами 5-6 класів спеціальної школи шляхом використання цифрових технологій у межах концепції "Математика 4.0".

Методологічну основу дослідження становлять аналіз і узагальнення наукових джерел з дидактики математики, спеціальної педагогіки та цифрових освітніх технологій, системно-структурний і порівняльний аналіз, дидактичне моделювання, а також теоретичне узагальнення практичного досвіду використання цифрових засобів навчання в спеціальній школі.

У результаті дослідження визначено психолого-педагогічні передумови засвоєння математичних знань учнями з особливими освітніми потребами в умовах цифровізованого освітнього середовища. Встановлено дидактичні можливості цифрових технологій щодо персоналізації навчання, поетапного формування знань і формувального оцінювання. Доведено доцільність застосування адаптивних цифрових засобів як інструменту керованого розвитку математичних умінь. Виявлено основні науково-практичні проблеми впровадження цифрових технологій, зокрема формалізацію індивідуалізації, обмежену доступність адаптованих ресурсів, цифрову нерівність і недостатню методичну готовність педагогів.

У висновках зазначено, що реалізація концепції "Математика 4.0" у спеціальній школі можлива за умови інтеграції цифрових технологій у цілісну методичну систему з провідною роллю педагога та орієнтацією на індивідуальну навчальну динаміку учнів. Застосування цифрових засобів сприяє підвищенню результативності й практичної значущості математичних знань.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з емпіричною оцінкою ефективності моделей "Математики 4.0" у спеціальній школі, розробленням критеріїв вимірювання навчальної динаміки та створенням стандартизованих адаптивних цифрових ресурсів для математичної освіти.

Ключові слова: цифрове навчальне середовище, спеціальна освіта, адаптивне навчання, персоналізована освітня траєкторія, дидактика математики, формувальне оцінювання, освітні дані, інклюзивні технології.

Introduction of the issue. The current phase of digital transformation in education, characterised by the concept of "Mathematics 4.0", necessitates a rethinking of the content, methods and technologies used in teaching mathematics in special schools. The introduction of

Постановка проблеми. Сучасний етап цифрової трансформації освіти, позначений концепцією "Математика 4.0", зумовлює необхідність переосмислення змісту, методів і технологій викладання математики в спеціальній школі. Запровадження

digital tools, adaptive learning platforms, elements of artificial intelligence (hereinafter 'AI') and visualisation environments significantly expands the didactic possibilities of mathematics education, whilst simultaneously highlighting the challenge of ensuring its accessibility, inclusivity and psycho-pedagogical appropriateness for pupils with special educational needs (hereinafter referred to as SEN). Traditional approaches to teaching mathematics in special schools often prove insufficiently flexible with regard to individual educational trajectories, levels of cognitive development and sensory abilities of pupils, which reduces the effectiveness of the acquisition of mathematical concepts and limits the potential for their cognitive development.

The issue of developing and implementing "Mathematics 4.0" models in special education lies at the intersection of mathematics didactics, special education, developmental psychology and digital educational technologies, and is directly linked to important scientific tasks such as justifying adaptive teaching methods, developing compensatory mechanisms for pupils, and demonstrating the effectiveness of pedagogical solutions focused on digital technologies. In practical terms, this issue correlates with the tasks of improving the quality of mathematical training for students in special education, expanding their opportunities for academic and social integration, as well as preparing teachers for professional practice within a digitalised and inclusive educational environment. Thus, the scientific understanding and practical resolution of the problem of implementing "Mathematics 4.0" in special schools is a necessary prerequisite for modernising the special education system in line with contemporary educational challenges and the strategic priorities for the development of science and society.

Current state of the issue. A review of current research on the topic allows us to identify four interrelated research areas that reflect the evolution of the goals, content and technologies of mathematics teaching in the context of the digital transformation of education and a focus on

цифрових інструментів, адаптивних навчальних платформ, елементів штучного інтелекту (далі – ШІ) та візуалізаційних середовищ істотно розширює дидактичні можливості математичної освіти, водночас актуалізуючи проблему забезпечення її доступності, інклюзивності та психолого-педагогічної доцільності для учнів з особливими освітніми потребами (далі – ООП). Традиційні підходи до навчання математики в спеціальній школі часто виявляються недостатньо гнучкими щодо індивідуальних освітніх траєкторій, рівня когнітивного розвитку та сенсорних можливостей учнів, що знижує ефективність засвоєння математичних понять і обмежує потенціал їхнього пізнавального розвитку.

Проблематика формування та впровадження моделей "Математики 4.0" у спеціальній освіті перебуває на перетині дидактики математики, спеціальної педагогіки, психології розвитку та цифрових освітніх технологій і безпосередньо пов'язана з важливими науковими завданнями обґрунтування адаптивних методик навчання, розвитку компенсаторних механізмів учнів та доведення результативності педагогічних рішень, орієнтованих на цифрові технології. У практичному вимірі ця проблема корелює із завданнями підвищення якості математичної підготовки здобувачів спеціальної освіти, розширення їхніх можливостей для академічної та соціальної інтеграції, а також підготовки педагогів до професійної діяльності в умовах цифровізованого й інклюзивного освітнього середовища. Отже, наукове осмислення й практичне розв'язання проблеми впровадження "Математики 4.0" у спеціальній школі є необхідною передумовою модернізації системи спеціальної освіти відповідно до сучасних освітніх викликів і стратегічних пріоритетів розвитку науки та суспільства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд сучасних досліджень за темою дозволяє виокремити чотири взаємопов'язані наукові напрями, що

the needs of pupils with intellectual disabilities. The first research area concerns the conceptual and methodological foundations of Mathematics 4.0 and the rethinking of the role of mathematics education within the Education 4.0 paradigm. In particular, E.P. Taja-on and co-authors (E.P. Taja-on et al.) view mathematics as a strategic tool for developing key 21st-century competences, notably adaptability, critical thinking and digital literacy, which creates a methodological foundation for its renewal in special schools [14]. E.P. Layco emphasises teachers' readiness to implement Mathematics Education 4.0, arguing that the insufficient level of teachers' professional and digital competences hinders the implementation of innovative approaches [10]. N.H. Zulkipli and M. Musa analyse teachers' attitudes towards the use of technology in mathematics teaching, emphasising that the effectiveness of digital transformations depends on motivational and organisational factors [15].

The second research area covers studies on the specifics of teaching mathematics to pupils with intellectual disabilities and issues relating to special and inclusive mathematics education. Thus, M.I. Klyap explores the didactic difficulties in the acquisition of mathematical knowledge by such pupils, emphasising the need for the gradual formation of concepts, visual aids and a practical focus in teaching [2]. The views of special education teachers on the process of teaching mathematics are studied by S. Özdemir and Y. Kılıç, who identify the conditions for its sustainability and effectiveness [11]. H.G. Kırmızıgül investigates the experience and challenges of teaching mathematics in an inclusive setting, noting the gap between theoretical requirements and the practical realities of teaching [8]. A. Filiz outlines the main trends in research on mathematics education in special education, emphasising the fragmentary and uneven nature of scientific approaches [7].

The third research area concerns the use of digital technologies, information and communication tools, and AI in teaching mathematics to pupils with SEN. The

відображають еволюцію цілей, змісту та технологій навчання математики в умовах цифрової трансформації освіти та орієнтації на потреби учнів з порушеннями інтелектуального розвитку. Перший науковий напрям стосується концептуально-методологічних засад Математики 4.0 та переосмислення ролі математичної освіти в парадигмі Education 4.0. Зокрема, Е.П. Тая-он та співавтори (Е.П. Тая-он et al.) розглядають математику як стратегічний інструмент формування основних компетентностей ХХІ століття, зокрема адаптивності, критичного мислення та цифрової грамотності, що створює методологічне підґрунтя для її оновлення в спеціальній школі [14]. На готовності вчителів до впровадження Mathematics Education 4.0 акцентує Е.П. Лайко (Е.П. Layco), доводячи, що недостатній рівень професійних і цифрових компетентностей педагогів стримує реалізацію інноваційних підходів [10]. Ставлення вчителів до використання технологій у навчанні математики аналізують Н.Г. Зулкіплі (N.H. Zulkipli) та М. Муса (M. Musa), підкреслюючи залежність ефективності цифрових трансформацій від мотиваційних і організаційних чинників [15].

Другий науковий напрям охоплює дослідження специфіки навчання математики учнів з порушеннями інтелектуального розвитку та проблематику спеціальної й інклюзивної математичної освіти. Так, М.І. Кляп розкриває дидактичні труднощі засвоєння математичних знань такими учнями, наголошуючи на необхідності поетапного формування понять, наочності та практичної спрямованості навчання [2]. Погляди вчителів спеціальної освіти на процес навчання математики вивчають С. Оздемір (S. Özdemir) і Ю. Килич (Y. Kılıç), визначаючи умови його стійкості та результативності [11]. Досвід і проблеми викладання математики в умовах інклюзії досліджує Х.Г. Кирмизигюль (H.G. Kırmızıgül), констатує розрив між теоретичними вимогами та реальними можливостями педагогічної

effectiveness of using mobile applications to develop basic mathematical concepts in primary school, which is also relevant to special educational practice, is demonstrated by a team of researchers led by A. Andreeva [1]. The use of ICT in teaching mathematics to pupils with SEN is analysed by T. Kramarenko and co-authors (T. Kramarenko et al.), emphasising the role of visualisation and interactivity as factors in improving the accessibility of learning materials [9]. The positive impact of Web 2.0 tools on pupils' academic achievement in mathematics, which confirms the didactic potential of digital environments, is substantiated by N. Azid and colleagues (N. Azid et al.) [5]. The possibilities of using artificial intelligence and robotics in special education as the basis for personalised and adaptive learning are explored by P. Pappachan and co-authors (P. Pappachan et al.) [12].

The fourth research area covers comparative, socio-pedagogical and organisational aspects of the development of mathematics education in the context of digitalisation and inclusion. Thus, V. Brydun and Y. Pekarska analyse the characteristics of mathematics teaching in economically developed countries, highlighting practices that can be adapted to national education systems [2]. E. Siregar and M.R.R. Simorangkir investigate the level of readiness of teachers in inclusive schools to work with children with SEN in the context of Education 4.0 [13]. The relationship between forms of special education and pupils' academic outcomes, which is of fundamental importance for the selection of organisational models for teaching mathematics, is analysed by S.M. Cole and colleagues (S.M. Cole et al.) [6]. Contemporary strategies for inclusive mathematics education are summarised by N.N. Abdulah and colleagues (N.N. Abdulah et al.), highlighting the lack of empirically validated approaches to supporting students with SEN [4].

Unresolved issues brought up in the article. Despite the dynamic development of digital technologies and the spread of the "Mathematics 4.0" concept, a number of

практики [8]. Основні тенденції досліджень із математичної освіти в спеціальній педагогіці окреслює А. Філіз (A. Filiz), підкреслюючи фрагментарність і нерівномірність наукових підходів [7].

Третій науковий напрям пов'язаний із використанням цифрових технологій, інформаційно-комунікаційних засобів і ІІІ в навчанні математики учнів з ООП. Ефективність застосування мобільних застосунків для формування базових математичних уявлень у початковій школі, що є релевантним і для спеціальної освітньої практики, доводить колектив науковців на чолі з А. Андреевою [1]. Використання ІКТ у навчанні математики учнів з ООП аналізують Т. Крамаренко та співавтори (Т. Kramarenko et al.), акцентуючи на ролі візуалізації та інтерактивності як чинників підвищення доступності навчального матеріалу [9]. Позитивний вплив інструментів Web 2.0 на навчальні досягнення учнів із математики, що підтверджує дидактичний потенціал цифрових середовищ, обґрунтовують Н. Азід та колеги (N. Azid et al.) [5]. Можливості використання штучного інтелекту й робототехніки в спеціальній освіті як основи персоналізованого та адаптивного навчання розкривають П. Паппачан та співавтори (P. Pappachan et al.) [12].

Четвертий науковий напрям охоплює порівняльні, соціально-педагогічні та організаційні аспекти розвитку математичної освіти в умовах цифровізації та інклюзії. Так, В. Бридун і Я. Пекарська аналізують особливості навчання математики в економічно розвинених країнах, виокремлюючи практики, що можуть бути адаптовані до національних освітніх систем [2]. Рівень готовності вчителів інклюзивних шкіл до роботи з дітьми з ООП в умовах Education 4.0 досліджують Е. Сірегар (E. Siregar) та М.Р.Р. Сіморангкір (M.R.R. Simorangkir) [13]. Взаємозв'язок між формами спеціальної освіти й академічними результатами учнів, що має принципове значення для вибору організаційних моделей навчання математики, аналізують С.М. Коул та колеги (S.M. Cole et al.) [6]. Сучасні стратегії інклюзивної математичної освіти узагальнюють

issues related to the teaching of mathematics in special schools require further scientific attention. In particular, data on the psychological and pedagogical characteristics of mathematical knowledge acquisition by pupils with SEN in Years 5-6, specifically within a digitalised educational environment, remain insufficiently systematised. Generalisations regarding the didactic potential of digital technologies from the perspective of their pedagogical relevance are limited. Methodological approaches to the use of adaptive digital tools within the framework of personalised learning require more in-depth justification. Furthermore, the issues of accessibility of digital resources and the methodological readiness of teachers have been studied only fragmentarily, which hinders the effective implementation of "Mathematics 4.0" in the practice of special schools.

The proposed study aims to address these gaps through a comprehensive analysis of the psychological and pedagogical prerequisites, the systematisation of the didactic potential of digital technologies, and the justification of adaptive methodological approaches to the development of mathematical knowledge among pupils in special schools. This allows for a broader scientific understanding of the issue and the creation of a methodological foundation for improving the effectiveness of mathematics teaching within the framework of the "Mathematics 4.0" concept.

Aim of the research. The purpose of the article is to provide a scientific justification and generalisation of approaches to the formation and development of mathematical knowledge among pupils with SEN in Years 5-6 of special schools, based on the use of digital technologies within the context of the "Mathematics 4.0" concept.

Research objectives:

1) to investigate the psychological and pedagogical conditions and didactic possibilities of a digitalised educational environment in the formation of mathematical knowledge among pupils with SEN in Years 5-6 of a special school;

Н.Н.Абдуллах та колектив однодумців (N.N. Abdulah et al.), підкреслюючи дефіцит емпірично підтверджених підходів до підтримки учнів з ООП [4].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.

Попри динамічний розвиток цифрових технологій і поширення концепції "Математика 4.0", низка питань, пов'язаних із викладанням математики в спеціальній школі, потребує додаткової наукової уваги. Зокрема, недостатньо систематизованими залишаються дані про психолого-педагогічні особливості засвоєння математичних знань учнями з ООП 5-6 класів саме в умовах цифровізованого освітнього середовища. Обмеженими є узагальнення дидактичних можливостей цифрових технологій із позиції їхньої педагогічної доцільності. Методичні підходи до використання адаптивних цифрових засобів у логіці персоналізованого навчання потребують більш глибокого обґрунтування. До того ж фрагментарно дослідженими є проблеми доступності цифрових ресурсів і методичної готовності педагогів, що стримує ефективне впровадження "Математики 4.0" у практику спеціальної школи.

Запропоноване дослідження спрямоване на заповнення зазначених прогалін шляхом комплексного аналізу психолого-педагогічних передумов, систематизації дидактичних можливостей цифрових технологій та обґрунтування адаптивних методичних підходів до формування математичних знань учнів спеціальної школи. Це дозволяє розширити наукове розуміння проблеми та створити методичну основу для підвищення результативності навчання математики в умовах реалізації концепції "Математика 4.0".

Мета статті. Мета статті полягає в науковому обґрунтуванні та узагальненні підходів до формування й розвитку математичних знань учнів з ООП 5-6 класів спеціальної школи на основі використання цифрових технологій у контексті концепції "Математика 4.0".

Завдання статті:

1) дослідити психолого-педагогічні умови та дидактичні можливості цифровізованого освітнього середовища

2) to substantiate methodological approaches to the formation and development of mathematical knowledge among pupils in Years 5-6 of a special school using adaptive digital teaching tools, taking into account the main scientific and practical constraints;

3) to develop practical recommendations for improving the effectiveness of mathematical training for pupils in special schools within the framework of the "Mathematics 4.0" concept.

Results and discussion. The acquisition of mathematical knowledge by pupils with SEN in Years 5-6 of a special school within a digitalised educational environment, shaped in accordance with the "Mathematics 4.0" concept, is determined by a combination of cognitive, emotional-volitional and motivational factors that determine the specific nature of the perception and processing of educational information. This category of pupils is characterised by difficulties in forming abstract concepts, short attention spans, slow processing of symbolic structures, and an increased dependence of learning outcomes on external pedagogical support. Within the "Mathematics 4.0" approaches, digital technologies-provided they are used in a pedagogically motivated manner-create additional opportunities to compensate for these characteristics through a combination of visualisation, step-by-step learning and personalised adaptation of the learning pace (Table 1).

у формуванні математичних знань учнів з ООП 5-6 класів спеціальної школи;

2) обґрунтувати методичні підходи до формування й розвитку математичних знань учнів 5-6 класів спеціальної школи із застосуванням адаптивних цифрових засобів навчання з урахуванням основних науково-практичних обмежень;

3) розробити практичні рекомендації щодо підвищення результативності математичної підготовки учнів спеціальної школи в умовах реалізації концепції "Математика 4.0".

Виклад основного матеріалу. Засвоєння математичних знань учнями з ООП у 5-6 класах спеціальної школи в умовах цифровізованого освітнього середовища, сформованого відповідно до концепції "Математика 4.0", визначається поєднанням когнітивних, емоційно-вольових і мотиваційних чинників, що зумовлюють специфіку сприйняття та опрацювання навчальної інформації. Для цієї категорії учнів характерними є труднощі формування абстрактних понять, нестійкість уваги, уповільнене опрацювання символічних структур і підвищена залежність результатів навчання від зовнішньої педагогічної підтримки. У межах підходів "Математики 4.0" цифрові технології за умови педагогічно вмотивованого використання створюють додаткові можливості для компенсації зазначених особливостей завдяки поєднанню візуалізації, поетапності засвоєння та персоналізованої адаптації навчального темпу (табл. 1).

Table 1

Psychological and pedagogical characteristics of mathematical knowledge acquisition by pupils with SEN in Years 5-6 in a digitalised educational environment

Psychological and pedagogical aspect	Manifestations in mathematics teaching	Didactic potential of digital technologies
Perception and attention	Limited concentration, rapid fatigue	Interactive visualisation, short learning blocks
Memory	Preference for involuntary memorisation	Repetitive exercises, multimodal presentation
Thinking	Difficulties with abstraction, the advantage of visualisation	Virtual models, dynamic manipulatives

Psychological and pedagogical aspect	Manifestations in mathematics teaching	Didactic potential of digital technologies
Motivation	Fickle interest, dependence on reinforcement	Gamification, instant feedback
Emotional and volitional sphere	Anxiety, low self-confidence	Adaptive complexity, safe educational environment

Source: compiled by the author based on [3: 59; 4: 572; 6: 220-221; 8: 223; 9]

The psychological and pedagogical characteristics outlined in Table 1 determine the rationale for the practical application of digital technologies in mathematics teaching in modern special schools, guided by the principles of "Mathematics 4.0", in particular personalisation and data-driven management of the educational process. Given limited sustained attention, it is effective to organise learning through short digital modules lasting 5-7 minutes, within which a single mathematical operation or concept is presented in a visualised form, reinforced by a practical activity and immediately tested via an interactive task. [6: 221]. In the practice of special schools, this is implemented, in particular, through digital calculators for computational skills, where the performance of similar operations is accompanied by immediate formative feedback without emphasising errors as learning failures. The characteristics of memory dictate the pedagogical value of repeated, varied revision of the learning material, which, in the context of "Mathematics 4.0", is implemented through digital learning scenarios with the accumulation of individual learning data. The combination of textual, graphical and audiovisual components contributes to a more lasting consolidation of mathematical concepts. For instance, when studying fractions, pupils can simultaneously observe visual models of dividing a whole, manipulate objects on the screen and relate them to numerical notation, which reduces the level of abstraction of the material and supports meaningful learning. The predominance of visual-imaginative

Наведені в таблиці 1 психолого-педагогічні особливості визначають логіку практичного застосування цифрових технологій у навчанні математики в сучасній спеціальній школі з орієнтацією на принципи "Математики 4.0", зокрема персоналізацію та даноорієнтоване управління освітнім процесом. В умовах обмеженої довільної уваги ефективною є організація навчання через короткі цифрові модулі тривалістю 5-7 хвилин, у межах яких одна математична дія або поняття подається у візуалізованій формі, підкріплюється практичною дією та одразу перевіряється інтерактивним завданням. [6: 221]. У практиці спеціальної школи це реалізується, зокрема, через цифрові тренажери обчислювальних навичок, де виконання однотипних операцій супроводжується миттєвим формувальним зворотним зв'язком без акцентування на помилках як на навчальних невдачах. Особливості пам'яті зумовляють педагогічну доцільність багаторазового, варіативного повторення навчального матеріалу, що в умовах "Математики 4.0" реалізується через цифрові сценарії навчання з накопиченням індивідуальних навчальних даних. Поєднання текстових, графічних та аудіовізуальних компонентів сприяє стійкішому закріпленню математичних понять. Так, під час вивчення дробів учні можуть одночасно спостерігати візуальні моделі поділу цілого, маніпулювати об'єктами на екрані та співвідносити їх із числовим записом, що знижує рівень абстрактності матеріалу та підтримує осмислене навчання. Переважання наочно-

thinking makes virtual manipulatives, digital geometric constructors and simulations particularly effective, as they allow pupils to "experience" mathematical operations in real time, observing patterns and the consequences of changes. In practice, this manifests itself in the ability to model changes in quantities, proportions or geometric shapes without overloading students with verbal explanations [3: 59]. Motivational and emotional-volitional aspects are supported through the creation of an adaptive digital environment in which the student works at their own pace, accumulates positive learning experiences and gradually builds confidence in their own mathematical abilities. In such conditions, digital technologies align with the "Mathematics 4.0" ideology, serving not only as a means of knowledge delivery but also as a mechanism for psychological and pedagogical support and personalised learning in a special school.

The didactic potential of digital technologies in teaching mathematics to pupils in special schools, within the context of the 'Mathematics 4.0' concept, lies in the ability to purposefully transform the content and logic of educational activities in accordance with pupils' individual educational needs and learning capabilities. In today's context, digital tools enable learning to be organised as a guided cognitive-practical process based on adaptability, a step-by-step approach and the use of data on pupils' learning activities, in which mathematical concepts are acquired through action, visual modelling and the gradual increase in the complexity of learning tasks, ensuring a pedagogically appropriate combination of structure and flexibility in learning (Table 2).

образного мислення робить особливо ефективними віртуальні маніпулятиви, цифрові геометричні конструктори й симуляції, які дозволяють учням "проживати" математичні дії в динаміці, спостерігаючи закономірності та наслідки змін. У практичній діяльності це проявляється в можливості моделювання змін величин, пропорцій або геометричних форм без перевантаження словесними поясненнями [3: 59]. Мотиваційний та емоційно-вольовий аспекти підтримуються через створення адаптивного цифрового середовища, у якому учень працює у власному темпі, накопичує позитивний навчальний досвід і поступово формує впевненість у власних математичних можливостях. У таких умовах цифрові технології відповідають ідеології "Математики 4.0", виконуючи функцію не лише засобу подання знань, а й механізму психолого-педагогічної підтримки та персоналізованого навчання в спеціальній школі.

Дидактичний потенціал цифрових технологій у викладанні математики для учнів спеціальної школи в контексті концепції "Математика 4.0" полягає в можливості цілеспрямовано трансформувати зміст і логіку освітньої діяльності відповідно до індивідуальних освітніх потреб і навчальних можливостей учнів. У сучасних умовах цифрові засоби дозволяють організувати навчання як керований пізнавально-практичний процес, заснований на адаптивності, поетапності та використанні даних про навчальну діяльність учнів, у якому математичні поняття засвоюються через дію, наочне моделювання та поступове ускладнення навчальних завдань, що забезпечує педагогічно доцільне поєднання структурованості й гнучкості навчання (табл. 2).

The didactic potential of digital technologies in teaching mathematics to pupils in special schools

Didactic approach	Educational effect in mathematics teaching	Pedagogically appropriate areas of application
Visualisation and modelling	Understanding mathematical relationships and dependencies	Introduction of new concepts, explanation of material
Adapting the level of difficulty	Aligning the workload with the pupil's abilities	Individual and group differentiation
Interactive practice	Sustained skill development	Consolidation and automation of actions
Formative assessment	Monitoring without stress or punishment	Ongoing monitoring and correction
Practical contextualisation	Transferring knowledge to everyday activities	Development of applied mathematical skills

Source: compiled by the author based on [1: 11; 5: 716; 11; 14; 15: 612]

The content of Table 2 reflects the didactic approaches to the use of digital technologies that correspond to the principles of "Mathematics 4.0" and enable the specification of mechanisms for their practical implementation in the contemporary context of a special school. Visualisation and modelling of mathematical objects facilitate the transition from formal manipulation of symbols to meaningful identification of relationships between quantities. In practice, this is achieved through dynamic models and interactive environments that allow pupils to explore mathematical relationships in a guided format [14]. Adapting the complexity of digital tasks creates the basis for implementing personalised learning pathways without isolating pupils from the shared educational process. In the context of special schools, this manifests itself in the use of digital platforms that adjust the level of support, the pace of completion and the presentation of tasks based on the results of the student's learning activities, ensuring the steady development of mathematical skills [15: 612]. Interactive training is a tool for the systematic

Зміст таблиці 2 відображає дидактичні напрями використання цифрових технологій, що відповідають принципам "Математики 4.0" та дозволяють конкретизувати механізми їх практичної реалізації в сучасних умовах спеціальної школи. Візуалізація й моделювання математичних об'єктів забезпечують перехід від формального оперування символами до осмисленого виявлення зв'язків між величинами. На практиці це реалізується через динамічні моделі й інтерактивні середовища, які дозволяють учням досліджувати математичні залежності в керованому форматі [14]. Адаптація складності цифрових завдань створює основу для реалізації персоналізованих освітніх траєкторій без ізоляції учнів від спільного освітнього процесу. У практиці спеціальної школи це проявляється у використанні цифрових платформ, що змінюють рівень допомоги, темп виконання та форму подання завдань на основі результатів навчальних дій учня, забезпечуючи стабільний розвиток математичних умінь [15: 612]. Інтерактивне тренування є інструментом системного формування навичок

development of skills through regular practice in a digital environment with continuous formative feedback. Formative assessment in the "Mathematics 4.0" framework is not focused on identifying errors, but on tracking the dynamics of knowledge acquisition, which allows for the timely adjustment of the teacher's instructional actions and the student's learning trajectory.

The practical contextualisation of mathematical knowledge enhances its functional significance through integration into real-life educational situations, in particular tasks related to orientation in time and space and the performance of basic calculations. In such conditions, digital technologies within the framework of "Mathematics 4.0" are not merely an auxiliary tool, but a methodological mechanism for modernising mathematics teaching in special schools, aimed at enhancing its accessibility, effectiveness and practical value.

The formation and development of mathematical knowledge among pupils in Years 5-6 of special schools, using adaptive digital teaching tools within the "Mathematics 4.0" framework, should be viewed as a methodologically guided process of gradual mastery of mathematical content, within which digital resources serve as a tool for the flexible organisation of learning activities in accordance with the individual learning dynamics of pupils, based on an analysis of the results of their learning activities (Table 3).

шляхом регулярного вправлення в цифровому середовищі з постійним формувальним зворотним зв'язком. Формувальне оцінювання в логіці "Математики 4.0" орієнтоване не на фіксацію помилок, а на відстеження динаміки засвоєння знань, що дозволяє своєчасно коригувати навчальні дії педагога та навчальну траєкторію учня.

Практична контекстуалізація математичних знань підсилює їхню функціональну значущість через інтеграцію в реальні навчально-життєві ситуації, зокрема завдання, пов'язані з орієнтацією в часі, просторі та виконанням елементарних розрахунків. У таких умовах цифрові технології у межах "Математики 4.0" є не допоміжним засобом, а методичним механізмом оновлення навчання математики в спеціальній школі, спрямованим на підвищення його доступності, результативності та практичної цінності.

Формування й розвиток математичних знань учнів 5-6 класів спеціальної школи із застосуванням адаптивних цифрових засобів навчання в межах концепції "Математика 4.0" доцільно розглядати як методично керований процес поетапного засвоєння математичного змісту, у межах якого цифрові ресурси є інструментом гнучкої організації навчальних дій відповідно до індивідуальної динаміки навчання учнів на основі аналізу результатів їхньої навчальної діяльності (табл. 3).

Table 3

Methodological approaches to the formation and development of mathematical knowledge among pupils in Years 5-6 of a special school using adaptive digital tools

Methodological approach	Methodological content	Role of adaptive digital tools
Step-by-step development of knowledge	Gradual increase in the complexity of mathematical operations	Adjustment of pace and number of repetitions
Guided independence	Transition from support to independent actions	Adaptive prompts of varying intensity
Variety of learning scenarios	Application of knowledge in varying conditions	Generation of multi-level tasks

Methodological approach	Methodological content	Role of adaptive digital tools
Analysis of learning errors	Awareness of common errors	Personalised corrective feedback
Monitoring of learning progress	Assessment of progress over time	Automated collection of results

Source: compiled by the author based on [3: 61; 8: 226-227; 9; 10: 19; 12: 235]

These methodological approaches are implemented in contemporary special school practice as a system of adaptive support for mathematics learning, consistent with the principles of "Mathematics 4.0", in particular personalisation and data-driven management of the educational process. The step-by-step acquisition of knowledge ensures the retention of mathematical material, as digital tools allow for the assessment of a pupil's readiness to progress to the next level of complexity based on the consistent performance of basic arithmetic operations without overloading them with teaching material. Guided autonomy is achieved by gradually reducing the volume of digital prompts as the student moves from performing actions by example to applying them independently, whilst maintaining confidence in their learning and consistent results. The variability of learning scenarios facilitates the transfer of mathematical knowledge to new learning situations, which helps to overcome rote learning and foster flexibility in the application of mathematical skills. In practice, this is achieved through adaptive tasks with variable conditions and parameters [5: 715-716]. Error analysis in the digital environment, within the "Mathematics 4.0" framework, serves an educational rather than a monitoring function, as the student receives personalised remedial tasks aimed at addressing specific gaps in knowledge [4: 571]. Monitoring of learning dynamics provides the teacher with an objective analytical basis for making methodological decisions, allowing them to adjust the pace, content and complexity of learning in accordance with pupils' individual progress. In this way, adaptive digital tools

Зазначені методичні підходи реалізуються в сучасній практиці спеціальної школи як система адаптивної підтримки навчання математики, що відповідає принципам "Математики 4.0", зокрема персоналізації та даноорієнтованого управління освітнім процесом. Поетапне формування знань забезпечує стійкість засвоєння математичного матеріалу, оскільки цифрові засоби дозволяють фіксувати готовність учня до переходу на наступний рівень складності на підставі стабільного виконання базових обчислювальних операцій без перевантаження навчальним матеріалом. Керована самостійність досягається шляхом поступового зменшення обсягу цифрових підказок, коли учень переходить від виконання дій за зразком до їх самостійного застосування, зберігаючи навчальну впевненість і стабільність результатів. Варіативність навчальних сценаріїв сприяє перенесенню математичних знань у нові навчальні ситуації, що дозволяє подолати механічне заучування та сформувати гнучкість застосування математичних умінь. На практиці це реалізується через адаптивні завдання зі змінними умовами та параметрами [5: 715-716]. Аналіз помилок у цифровому середовищі в логіці "Математики 4.0" виконує навчальну, а не контрольну функцію, оскільки учень отримує персоналізовані корекційні завдання, спрямовані на усунення конкретних прогалин у знаннях [4: 571]. Моніторинг навчальної динаміки забезпечує педагогу об'єктивну аналітичну основу для ухвалення методичних рішень, дозволяючи коригувати темп, зміст і складність навчання відповідно до індивідуального прогресу учнів. У такий спосіб адаптивні цифрові засоби

are integrated into the methodological system of teaching mathematics in a special school as a key element in implementing the "Mathematics 4.0" concept, aimed at enhancing the effectiveness, accessibility and sustainability of mathematical education.

The introduction of digital technologies into mathematics teaching at a special school within the framework of the "Mathematics 4.0" concept is accompanied by a range of theoretical and practical challenges that limit their actual educational impact [10; 15]. One of the main issues is the formalised interpretation of individualised learning, in which digital tools are used as universal instruments without taking into account cognitive dynamics, psychophysiological capabilities and the actual educational needs of pupils. Under such conditions, adaptability is reduced to minimal changes in the complexity of tasks and does not ensure the formation of fully-fledged individual educational trajectories, which contradicts the ideology of "Mathematics 4.0" as a personalised, data-driven approach. A significant problem remains the limited availability of high-quality digital resources adapted to the needs of special schools, as most digital platforms are geared towards mainstream education and require significant methodological refinement. This results in the fragmented and sporadic use of digital technologies, dependent on the individual initiative of the teacher and the material and technical conditions of the educational institution [9]. Furthermore, the problem of digital inequality is exacerbated by unequal access to devices, software and a stable digital environment, which, in the context of special schools, makes continuous learning impossible and exacerbates educational differentiation. A significant limiting factor is the insufficient methodological readiness of teachers to work within the "Mathematics 4.0" framework, where proficiency in digital tools is not accompanied by a developed understanding of their didactic role in teaching mathematics to pupils with SEN [10: 18]. The consequence of this is the superficial use of technology, where the

інтегруються в методичну систему викладання математики в спеціальній школі як важливий елемент реалізації концепції "Математика 4.0", спрямований на підвищення результативності, доступності та стійкості математичної підготовки.

Упровадження цифрових технологій у навчання математики в спеціальній школі в межах концепції "Математика 4.0" супроводжується комплексом науково-практичних проблем, що обмежують їх реальний освітній ефект [10; 15]. Однією з основних є формалізоване трактування індивідуалізації навчання, за якого цифрові засоби використовуються як універсальні інструменти без урахування когнітивної динаміки, психофізіологічних можливостей і реальних освітніх потреб учнів. У таких умовах адаптивність зводиться до мінімальної зміни складності завдань і не забезпечує формування повноцінних індивідуальних освітніх траєкторій, що суперечить ідеології "Математики 4.0" як персоналізованого, даноорієнтованого підходу. Суттєвою проблемою залишається обмежена доступність якісних цифрових ресурсів, адаптованих до потреб спеціальної школи, оскільки більшість цифрових платформ орієнтовані на масову освіту й потребують значного методичного доопрацювання. Це спричиняє фрагментарне й епізодичне використання цифрових технологій, залежне від індивідуальної ініціативи вчителя та матеріально-технічних умов закладу освіти [9]. Додатково загострюється проблема цифрової нерівності, пов'язана з неоднаковим рівнем доступу до пристроїв, програмного забезпечення й стабільного цифрового середовища, що в умовах спеціальної школи унеможливає безперервність навчання та посилює освітню диференціацію. Вагомим обмежувальним чинником є недостатня методична готовність педагогів до роботи в логіці "Математики 4.0", коли володіння цифровими інструментами не супроводжується сформованим розумінням їхньої дидактичної ролі в навчанні математики учнів з ООП [10: 18]. Наслідком цього є імітаційне використання технологій, за якого

digital form replaces the teaching methodology. A separate problem is the lack of alignment between digital tools and the current educational programmes of special schools, as well as the absence of clear methodological guidelines for implementing the "Mathematics 4.0" concept, which complicates the assessment of learning outcomes and the dissemination of effective practices.

Improving the effectiveness of developing mathematical knowledge among pupils with SEN in Years 5-6 of special schools using digital technologies should be carried out within the framework of the "Mathematics 4.0" concept, which provides for personalised and adaptive management of the educational process based on learning data. It is recommended that digital tools be integrated into the learning structure as a methodologically sound instrument for the step-by-step development of knowledge, with a clear distinction between their functions at the stages of explanation, practice and consolidation of the learning material. The use of digital platforms for the continuous monitoring of individual learning dynamics, with subsequent adjustment of the pace and complexity of tasks, is practically effective, ensuring that educational requirements are aligned with pupils' actual capabilities. Formative assessment should be used as a means of supporting motivation and awareness of learning progress, avoiding the dominance of the monitoring function of digital tools. An important recommendation is to combine digital and traditional pedagogical approaches, whereby technology complements rather than replaces the teacher's role, preserving their leading role in the meaningful organisation of learning and the psychological and pedagogical support of students. A necessary condition for improving the effectiveness of digital learning is targeted methodological training of teachers to work within the "Mathematics 4.0" framework, in particular the development of skills to design adaptive learning scenarios and interpret the results of digital monitoring. Under such conditions,

цифрова форма підміняє навчальну методику. Окрему проблему становить неузгодженість цифрових засобів із чинними освітніми програмами спеціальної школи та відсутність чітких методичних орієнтирів реалізації концепції "Математика 4.0", що ускладнює оцінювання результативності навчання й поширення ефективних практик.

Підвищення результативності формування математичних знань учнів з ООП 5-6 класів спеціальної школи засобами цифрових технологій доцільно здійснювати в межах концепції "Математика 4.0", що передбачає персоналізоване й адаптивне управління освітнім процесом на основі навчальних даних. Цифрові засоби рекомендовано інтегрувати у структуру навчання як методично обґрунтований інструмент поетапного формування знань, із чітким розмежуванням їхніх функцій на етапах пояснення, тренування та закріплення навчального матеріалу. Практично ефективним є використання цифрових платформ для постійного моніторингу індивідуальної навчальної динаміки з подальшою корекцією темпу й складності завдань, що забезпечує узгодження навчальних вимог із реальними можливостями учнів. Формувальне оцінювання доцільно застосовувати як засіб підтримки мотивації та усвідомлення навчального прогресу, уникаючи домінування контролювальної функції цифрових інструментів. Важливою рекомендацією є поєднання цифрових і традиційних педагогічних підходів, за якого технології доповнюють, а не замінюють діяльність учителя, зберігаючи його провідну роль у смисловій організації навчання та психолого-педагогічному супроводі учнів. Необхідною умовою підвищення результативності цифрового навчання є цілеспрямована методична підготовка педагогів до роботи в логіці "Математики 4.0", зокрема розвиток умінь проектувати адаптивні навчальні сценарії та інтерпретувати результати цифрового моніторингу. За таких умов цифрові технології сприяють не лише

digital technologies contribute not only to improving the quality of mathematical education but also to the formation of a sustainable learning experience for pupils in special schools.

Conclusions and research perspectives. The study found that the "Mathematics 4.0" concept forms a comprehensive scientific and methodological basis for updating the process of teaching mathematics in special schools, within which digital technologies serve as a tool for personalised and adaptive management of the learning activities of pupils with SEN. It has been established that the didactic and methodological potential of digital tools is realised only if they are integrated into a phased model of mathematical knowledge development, focused on individual learning dynamics, formative assessment and guided student autonomy. It has been revealed that the main scientific and practical challenges in the implementation of digital technologies in special mathematics education are the formalised interpretation of individualised learning, limited availability of adapted digital resources, the existence of the digital divide, teachers' insufficient methodological readiness to work within the "Mathematics 4.0" framework, and the lack of alignment between digital tools and current educational programmes. The combination of these problems limits the transformative potential of digitalisation and results in the fragmented nature of its practical implementation. It is argued that improving the effectiveness of mathematical knowledge acquisition among pupils in Years 5-6 of a special school is possible provided there is a holistic implementation of the principles of "Mathematics 4.0", in particular personalisation, adaptability and data-driven pedagogical decision-making, as well as the preservation of the teacher's leading role in organising and providing meaningful guidance throughout the educational process.

Prospects for further research relate to the empirical evaluation of the effectiveness of "Mathematics 4.0" models in special schools, the development of

підвищенню якості математичної підготовки, а й формуванню стійкого навчального досвіду учнів спеціальної школи.

Висновки та перспективи досліджень. У процесі дослідження встановлено, що концепція "Математика 4.0" формує цілісну науково-методичну основу оновлення процесу викладання математики в спеціальній школі, у межах якої цифрові технології є інструментом персоналізованого й адаптивного управління навчальною діяльністю учнів з ООП. З'ясовано, що дидактичний і методичний потенціал цифрових засобів реалізується лише за умови їх інтеграції в поетапну модель формування математичних знань, орієнтовану на індивідуальну навчальну динаміку, формувальне оцінювання та керовану самостійність учнів. Виявлено, що основними науково-практичними проблемами впровадження цифрових технологій у спеціальній математичній освіті є формалізоване трактування індивідуалізації навчання, обмежена доступність адаптованих цифрових ресурсів, наявність цифрової нерівності, недостатня методична готовність педагогів до роботи в логіці "Математики 4.0" та неузгодженість цифрових інструментів із чинними освітніми програмами. Сукупність зазначених проблем обмежує трансформаційний потенціал цифровізації й зумовлює фрагментарність її практичної реалізації. Обґрунтовано, що підвищення результативності формування математичних знань учнів 5-6 класів спеціальної школи можливе за умови цілісного впровадження принципів "Математики 4.0", зокрема персоналізації, адаптивності та даноорієнтованого прийняття педагогічних рішень, а також збереження провідної ролі вчителя в організації та смислового супроводі освітнього процесу.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з емпіричним оцінюванням ефективності моделей "Математики 4.0" у спеціальній школі, розробленням

criteria for measuring learning dynamics, the creation of standardised adaptive digital resources, and the study of their long-term impact on the academic achievement and educational integration of pupils with SEN.

критеріїв вимірювання навчальної динаміки, створенням стандартизованих адаптивних цифрових ресурсів і вивченням їхнього довгострокового впливу на навчальну успішність та освітню інтеграцію учнів з ООП.

REFERENCES (TRANSLATED & TRANSLITERATED)

1. Andrieieva, A., Dryhach, T., & Pryprosta, K. (2025). Mobilni zastosunki dlia vyvchennia matematyky u pochatkovii shkoli [Mobile applications for learning mathematics in primary school]. *Osvita. Innovatyka. Praktyka – Education. Innovation. Practice*, 13(4), 7-14. DOI: 10.31110/2616-650X-vol13i4-001 [in Ukrainian].
2. Brydun, V.L., & Pekarska, Y.T. (2025). Osoblyvosti navchannia matematyky v deiakyykh krainakh z rozvynenoiu ekonomikoju [Features of teaching mathematics in some economically developed countries]. *Information Technologies in Education*, 2(58), 27-40. DOI: 10.14308/ite000797 [in Ukrainian].
3. Kliap, M.I. (2025). Okremi pytannia vyvchennia matematyky uchniamy z porushenniamy intelektu [Some issues of studying mathematics by students with intellectual disabilities]. *Pedahohichna innovatyka: suchasnist ta perspektyvy – Pedagogical Innovation: Modernity and Prospects*, 9, 58-62. DOI: 10.32782/ped-uzhnu/2025-9-10 [in Ukrainian].
4. Abdulah, N.N., Faqihah Bahari, S.S., Zakaria, N.A., Abu Talib, R., & Maat, S.M. (2025). Inclusive mathematics education for students with special educational needs: A systematic review and bibliometric analysis of strategies and interventions. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 15(5), 564-585. DOI: 10.6007/IJARBS/v15-i5/25486 [in English].
5. Azid, N., Hasan, R., Nazarudin, N.F.M., & Md-Ali, R. (2020). Embracing Industrial Revolution 4.0: The effect of using Web 2.0 tools on primary school students' mathematics achievement (Fraction). *International Journal of Instruction*, 13(3), 711-728. DOI: 10.29333/iji.2020.13348a [in English].
6. Cole, S.M., Murphy, H.R., Frisby, M.B., Grossi, T.A., & Bolte, H.R. (2021). The relationship of special education placement and student academic outcomes. *The Journal of Special Education*, 54(4), 217-227. DOI: 10.1177/0022466920925033 [in English].
7. Filiz, A. (2024). The landscape of mathematics and mathematics education research in special education: A bibliometric analysis. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 17(1), 15-24. Retrieved from: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1462055.pdf> [in English].
8. Kırmızıgül, H.G. (2022). Teachers' experiences, problems and solutions regarding special education and inclusive education in secondary school mathematics lessons: The case of Turkiye. *International Journal of Educational Studies in Mathematics*, 9(4), 219-232. DOI: 10.17278/ijesim.1159553 [in English].
9. Kramarenko, T., Bondar, K., & Shestopalova, O. (2021). The ICT usage in teaching mathematics to students with special educational needs. *Journal of Physics: Conference Series*, 1840(1), 012009. DOI: 10.1088/1742-6596/1840/1/012009 [in English].
10. Layco, E.P. (2022). Mathematics Education 4.0: Teachers' competence and skills readiness in facing the impact of Industry 4.0 on education. *Journal of Positive School Psychology*, 6(2), 12-33. Retrieved from: <https://www.researchgate.net/profile/Eddiebal-Layco-2/publication/361312321> [in English].
11. Özdemir, S., & Kılıç, Y. (2023). Investigating special education teachers' views on mathematics instruction process: Suggestions for sustainable special education in mathematics instruction. *Sustainability*, 15(4), 3584. DOI: 10.3390/su15043584 [in English].

12. Pappachan, P., Piyakanjana, S., Syofyan, H., & Nugroho, G. (2025). Innovative horizons: The role of AI and robotics in special education. In *AI Developments for Industrial Robotics and Intelligent Drones*. IGI Global Scientific Publishing, 231-256 [in English].
13. Siregar, E., & Simorangkir, M.R.R. (2021). Understanding of inclusion school teachers in children with special needs in the 4.0 education era. *International Journal of Recent Innovations in Academic Research*, 5(6), 33-37. Retrieved from: <https://www.ijriar.satwebview.in/docs/2021/2021-june/IJRIAR-05.pdf> [in English].
14. Taja-on, E.P., Dajero, B.K.C., & Barete, M.G. (2025). Mathematics and modern society: A Delphi study exploring Mathematics Education towards Education 4.0. *Educational Point*, 2(1), e120. DOI: 10.71176/edup/16534 [in English].
15. Zulkipli, N.H., & Musa, M. (2022). Education 4.0: An analysis of teachers' attitude towards the use of technology in teaching mathematics. *International Journal of Information and Education Technology*, 12(7), 609-614. DOI: 10.18178/ijiet.2022.12.7.1660 [in English].

Received: October 20, 2025
Accepted: November 17, 2025