

DIGITAL TRANSFORMATION IN THE INFORMATION SOCIETY



DIGITAL TRANSFORMATION IN THE INFORMATION SOCIETY

Monograph

*Editors: Tetyana Nestorenko,
Aleksander Ostenda*

The University of Technology in Katowice Press

2026

Editorial board :

Maryna Azhazha – DSc, Professor, Zaporizhzhia National University, Ukraine
Nadiya Dubrovina – CSc., PhD, Associate Professor,
Bratislava University of Economics and Management, Slovakia
Dominika Kalita – Academy of Silesia
Oleksandra Mandych – DSc, Professor, State Biotechnological University, Ukraine
Ernest Murtaziiev – PhD, Associate Professor,
Bohdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University, Ukraine
Oleksandr Nestorenko – PhD, Academy of Silesia
Tetyana Nestorenko – PhD, Professor AS, Academy of Silesia;
Associate Professor, Berdyansk State Pedagogical University, Ukraine
Aleksander Ostenda – PhD, Professor AS, Academy of Silesia
Iryna Ostopolets – PhD, Associate Professor,
Bogdan Khmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University, Ukraine
Natalia Ryzhikova – DSc, Professor, State Biotechnological University, Ukraine

Scientific reviewers :

Slawomir Sliwa – Professor ANS-WSZiA, DSc, Academy of Applied Sciences –
Academy of Management and Administration in Opole
Iryna Yemchenko – DSc, Professor, Lviv Polytechnic National University, Ukraine

The authors bear full responsibility for the text, data, quotations, and illustrations.

Copyright by Academy of Silesia, Katowice, 2026

ISBN

DOI:

Editorial compilation :

The University of Technology in Katowice Press
43 Rolna str., 40-555 Katowice, Silesia Province, Poland
tel. (32) 202 50 34; fax: (32) 252 28 75
email: kontakt@wydawnictwo.wst.pl
www.akademiaslaska.pl, www.wydawnictwo.wst.pl

TABLE OF CONTENTS:

Preface	6
Chapter 1. Anthropocentric Orientations in the Digital Paradigm of Contemporary Education	8
1.1. Digital environment of business financial management and analytical solutions	8
1.2. Implementation of STEAM projects through cloud services in technology teacher preparation in higher pedagogical education	15
1.3. The informational worldview as a new form of understanding reality: an attempt at interpretation from the perspective of Dilthey and Jaspers	23
1.4. The evolutionary triunity of Ukrainian education: instruction ↔ upbringing ↔ development	30
1.5. Methodological principles for the use of adaptive physical education for individuals with intellectual disabilities	37
1.6. Methodology of using ai in the study of Ukrainian language and literature	45
1.7. The digitalization of education in the context of the formation of an information society: challenges and prospects	51
1.8. The role of resilience in the learning of medical students	58
1.9. Dance-movement therapy as a means of psychological rehabilitation after a traumatic experience	65
1.10. Development of Information and digital competence of future physics teachers in the context of digital transformation of education	71
Chapter 2. The Digital Economy, Management, and Innovative Leadership Models	77
2.1. Assessment of positive developments in vocational education in the context of the digital economy and information society	77
2.2. AI-enhanced public value management in healthcare: from fuzzy triage to multi-criteria policy optimization	84
2.3. Digital transformation of financial management systems with the involvement of innovative tools	88
2.4. Innovative management and transformation of accounting and taxation systems in the digital economy	96
2.5. Features of population preparedness for emergency situations	104
2.6. Algorithmic contracts	112
2.7. Scientific and methodological foundations of engineering protection of nuclear power plants against cascading accidents	120

2.8. Scientific approaches to the restoration of damaged buildings considering their residual service life	130
2.9. The transformation of small and medium-sized enterprises under the influence of artificial intelligence technologies	137
2.10. The impact of group dynamics on the effectiveness of programmers' teamwork	145
 Chapter 3. Sectoral Dimensions of Digitalization: Tourism, Sport, and Immersive Technologies in Culture	 149
3.1. Digital painting in art education	149
3.2. The digital transformation of sightseeing tourism in the Volyn region: innovative approaches and prospects for development	155
3.3. Development of a method for merging data into a single representation space that preserves semantic information	162
3.4. Digital directions for the development of financial management in the insurance sector	175
3.5. Gamification and digitalization of mass sports as a factor in engaging the population in physical activity	182
3.6. AR/VR technologies in art and publishing: from printed media to immersive experience	188
3.7. Innovative information technologies in the system of training physical education and sports specialists	196
3.8. An analysis of the implementation of smart tourism in touristic clusters	203
3.9. Features of medical tourism innovative development in the digital world	219
 Annotation	 226
 About the authors	 236

PREFACE

The contemporary global landscape is defined by an unprecedented pace of technological evolution, signalling the definitive maturation of the Information Society. At the core of this epochal shift is digital transformation – a process that extends far beyond the mere adoption of novel software or the automation of routine tasks. Rather, it represents a fundamental, structural reconfiguration of socioeconomic paradigms, cultural dynamics, and educational frameworks. As artificial intelligence, cloud computing, immersive technologies, and advanced data analytics seamlessly integrate into the fabric of daily life, they redefine how knowledge is produced, how economies operate, and how human potential is realized.

This collective monograph, titled "Digital Transformation in the Information Society", serves as a multidisciplinary platform designed to explore, analyse, and synthesize the multifaceted dimensions of this digital reality. Bringing together diverse scholarly perspectives, the volume investigates how digital imperatives intersect with human-centric education, agile economic management, and evolving sectoral innovations. The overarching objective of this work is to bridge theoretical insights with empirical applications, offering a comprehensive roadmap for navigating the complexities of a digitized world.

The structural architecture of the monograph is organized into three interrelated sections, each addressing a critical pillar of the modern information ecosystem.

The first chapter, "Anthropocentric Orientations in the Digital Paradigm of Contemporary Education", grounds the monograph in the human element, examining the profound shifts within pedagogical theory and practice. Positioned at the intersection of technological advancement and humanistic values, this section explores how digitalization reshapes educational ecosystems while striving to maintain an anthropocentric focus. Contributions within this chapter address the strategic challenges and prospects of forming an information society, emphasizing the evolutionary triad of Ukrainian education: learning, upbringing, and holistic development.

Special attention is dedicated to the cultivation of digital competencies among future educators – specifically in physics and technology – through innovative frameworks like cloud-based STEAM projects and the integration of artificial intelligence in humanities education, such as Ukrainian language and literature. Furthermore, recognizing that technological shifts do not occur in a vacuum, this section critically addresses human resilience, psychological well-being, and inclusivity. Scholars delve into the role of resilience in medical education, the application of dance-movement therapy as a tool for trauma rehabilitation, and contemporary trajectories for volunteering dedicated to individuals with special educational needs.

The second chapter, "The Digital Economy, Management, and Innovative Leadership Models", transitions from pedagogical frameworks to the structural adaptations required in business, governance, and organizational management. As the digital economy accelerates, traditional operational models are becoming obsolete, necessitating the emergence of innovative leadership and agile systems. This section evaluates positive developments in vocational education tailored to the demands of the digital market and investigates the formation of digital competencies for future leaders within the vibrant ecosystem of entrepreneurial universities.

The paragraphs within this section critically analyse the transformation of core business functions, including accounting, taxation, and the legal complexities of algorithmic contracts. Emphasis is placed on the strategic adaptation of small and medium-sized enterprises (SMEs) under the disruptive influence of artificial intelligence. Additionally, the section explores the internal mechanics of technical teams – such as the impact of group dynamics on the efficiency of software programmers – and extends its reach into AI-enhanced public value management within healthcare, demonstrating the power of fuzzy triage and multi-criteria policy optimization.

The final chapter of the monograph, "Sectoral Dimensions of Digitalization: Tourism, Sport, and Immersive Technologies in Culture", offers a granular look at how digitalization manifests across specific sectors that are vital to human culture, physical well-being, and regional economies. It captures the transition from physical media to immersive, data-driven experiences. In the realm

of tourism, contributors analyse the digital transformation of sightseeing tourism in specific regions, such as Volyn, alongside the broader implementation of smart tourism within regional clusters and the innovative development of medical tourism in a globalized digital world.

This section also illuminates the intersection of technology and physical culture, exploring how gamification and digital tools act as catalysts for public engagement in mass sports, alongside the integration of advanced information technologies in training physical education specialists. Finally, the volume culminates in an exploration of digital art and immersive experiences, analysing digital painting in art education, the deployment of AR/VR technologies from print media to publishing, and the development of sophisticated data fusion methods designed to preserve semantic information within a unified digital space.

In synthesis, the monograph "Digital Transformation in the Information Society" provides a panoramic yet deeply detailed examination of the digital currents shaping our current era. By intertwining education, economics, and sectoral innovations, this monograph underscores a vital truth: while technology acts as the primary catalyst for change, the ultimate success of digital transformation relies on our ability to align these tools with human values, societal resilience, and strategic vision. We hope that the insights compiled herein will stimulate further academic discourse, inspire innovative teaching practices, and guide policymakers and industry leaders toward a sustainable, inclusive digital future.

Editors

2.7. SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF ENGINEERING PROTECTION OF NUCLEAR POWER PLANTS AGAINST CASCADING ACCIDENTS

2.7. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ІНЖЕНЕРНОГО ЗАХИСТУ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ВІД КАСКАДНИХ АВАРІЙ

Атомні електростанції (АЕС) належать до об'єктів критичної інфраструктури, порушення роботи яких може спричинити радіаційні, техногенні, екологічні та соціальні наслідки. Безпечне функціонування АЕС залежить від збереження систем охолодження, електроживлення, герметизації, радіаційного контролю, управління, зв'язку та аварійного реагування. Відмова однієї з цих систем може впливати на інші елементи інфраструктури та створювати умови для каскадного розвитку аварії.

Інженерний захист АЕС має охоплювати не лише фізичну стійкість будівель, споруд і технологічного обладнання, а й здатність об'єкта підтримувати функції безпеки за умов внутрішніх відмов, зовнішніх уражень, кіберризиків, пошкодження інженерних мереж і забруднення прилеглих територій. Тому вибір контрзаходів повинен ґрунтуватися на аналізі сценаріїв аварійного розвитку, взаємозв'язків між системами АЕС, можливих шляхів поширення небезпечних чинників та наслідків для населення і довкілля.

Нормативне забезпечення інженерного захисту атомних електростанцій формується на перетині вимог до критичної інфраструктури, ядерної та радіаційної безпеки, аварійної готовності й кіберзахисту. Закон України «Про критичну інфраструктуру» задає правову основу для розгляду АЕС як об'єкта, від стійкості якого залежить безпека населення, довкілля, економіки та енергетичної системи. У межах досліджуваної теми це дозволяє визначати критичні функції станції, потенційні загрози їх порушення та загальні вимоги до захисту об'єкта (*Закон України «Про критичну інфраструктуру»*, 2024).

Вимоги до ядерної та радіаційної безпеки конкретизуються через Загальні положення безпеки атомних станцій. Для формування методики інженерного захисту ці положення можуть бути використані як основа для визначення критеріїв вибору контрзаходів. До таких критеріїв належать збереження охолодження, електроживлення, герметизації, радіаційного контролю, керованості об'єкта та здатності підтримувати безпечний стан в аварійних умовах (*Державна інспекція ядерного регулювання України*, 2024).

Кіберзахист об'єктів критичної інфраструктури розширює інженерний захист АЕС до рівня цифрової стійкості. Для атомної станції це стосується систем управління, моніторингу, сигналізації, зв'язку та передачі даних. Відмова або компрометація таких систем може ускладнити виявлення аварійного стану, координацію дій персоналу та реалізацію протиаварійних процедур. Тому цифровий компонент має розглядатися разом із фізичними, технічними й організаційними контрзаходами (*Кабінет Міністрів України*, 2019).

Міжнародні документи ІАЕА формують методичну основу для побудови багаторівневої системи захисту АЕС. Принцип *defence in depth* передбачає послідовне застосування бар'єрів і заходів, які запобігають виникненню аварії, обмежують її розвиток і зменшують наслідки у разі втрати окремих елементів захисту. У межах алгоритму інтегрованого вибору контрзаходів це дає змогу розподіляти заходи на превентивні, захисні, локалізаційні, компенсувальні та післяаварійні (ІАЕА, 2024).

Управління аваріями на АЕС передбачає виявлення вразливостей станції, розроблення стратегій реагування, перевірку процедур і підготовку персоналу. Для аналізу каскадних аварій такий підхід дозволяє розглядати контрзаходи як узгоджену послідовність дій, спрямованих на стабілізацію стану об'єкта після порушення однієї або кількох функцій безпеки (ІАЕА, 2019).

Технічний блок методики безпосередньо пов'язаний із надійністю системи охолодження реактора та пов'язаних із нею систем. У разі каскадного розвитку аварії втрата електроживлення, насосного обладнання або водопостачання може впливати на здатність

станції відводити залишкове тепло. Тому алгоритм вибору контрзаходів має враховувати резервування, автономність роботи, захищеність джерел живлення та можливість відновлення функцій безпеки після пошкодження або відмови окремих елементів (IAEA, 2020).

Цифрові системи ядерних об'єктів беруть участь у моніторингу, передачі даних, фізичному захисті та реалізації аварійних дій. Порухення їхньої роботи може впливати на керованість технологічних процесів і своєчасність реагування. У зв'язку з цим комп'ютерна безпека має бути включена до алгоритму поряд із фізичними та технічними заходами інженерного захисту (IAEA, 2021).

Сценарії зовнішніх уражень розширюють аналіз безпеки АЕС за межі традиційних проєктних аварій. Пошкодження інфраструктури, обмеження доступу персоналу, порушення логістики, втрата зв'язку та ускладнення аварійного реагування можуть одночасно впливати на здатність об'єкта підтримувати критичні функції. Це створює потребу в урахуванні територіальних і організаційних обмежень під час вибору контрзаходів (OECD/NEA, 2025).

Для АЕС, розташованих у зоні можливих зовнішніх уражень, необхідно враховувати стан прилеглої території, транспортної інфраструктури, джерел водопостачання, під'їзних шляхів і зон потенційного забруднення. Ракетно-артилерійські ураження можуть створювати не лише прямі загрози для будівель, споруд і обладнання, а й вторинні наслідки: пожежі, руйнування інженерних мереж, забруднення довкілля, ускладнення евакуації та зниження ефективності аварійного реагування (Рашкевич, 2023).

Алгоритмічний підхід до попередження надзвичайних ситуацій на уражених територіях може бути використаний під час побудови блоку збору вихідних даних для методики інженерного захисту АЕС. Такий блок має включати ідентифікацію небезпечних чинників, оцінювання стану території, аналіз доступності інженерних ресурсів і вибір управлінських або технічних заходів для зменшення ризику розвитку аварійної ситуації (Рашкевич et al., 2024a).

Техногенні наслідки зовнішнього ураження можуть проявлятися через пожежі, пошкодження інженерних мереж, забруднення атмосферного повітря або води, блокування доступу до окремих зон і порушення умов роботи аварійних служб. Для інженерного захисту АЕС це означає, що контрзаходи мають бути спрямовані не лише на захист основного технологічного обладнання, а й на підтримання працездатності допоміжної та зовнішньої інфраструктури (Рашкевич et al., 2024b).

Каскадна аварія може розвиватися в часі через послідовне накопичення наслідків: первинне пошкодження, вторинне порушення суміжних систем, зниження резервування, погіршення умов доступу, поширення забруднення та ускладнення моніторингу. Тому алгоритм інтегрованого вибору контрзаходів має враховувати не тільки поточний стан об'єкта, а й прогноз розвитку небезпеки у часі (Рашкевич et al., 2025a).

Екологічний блок методики має враховувати можливе поширення небезпечних речовин у ґрунтах і ґрунтових водах. У разі пошкодження радіаційно небезпечних елементів або об'єктів поводження з радіоактивними матеріалами забруднювальні речовини можуть виходити за межі первинної зони аварії. Тому алгоритм має враховувати гідрогеологічні умови, шляхи міграції забруднення, потенційні зони накопичення та потребу в інженерних бар'єрах (Рашкевич et al., 2024c; Рашкевич et al., 2025b).

Сценарії пошкодження об'єктів поводження з відпрацьованим ядерним паливом потребують окремого оцінювання радіаційного впливу. Для таких випадків необхідно прогнозувати поширення радіонуклідів, визначати дозові навантаження, встановлювати зони обмеженого доступу, організовувати спеціальний моніторинг і визначати захисні заходи для населення та довкілля (Краснов & Рашкевич, 2025; Смірнов et al., 2025).

Геопросторове профілювання території можливого радіаційного забруднення дозволяє поєднати дані про джерело небезпеки, межі ураження, метеорологічні умови, рельєф, гідрогеологічні характеристики та стан інфраструктури. У методиці інженерного захисту АЕС такий просторовий модуль може використовуватися для визначення зон пріоритетного захисту, маршрутів доступу аварійних служб, меж евакуації, місць розміщення тимчасових бар'єрів і пунктів радіаційного контролю (Рашкевич et al., 2025c).

Аналіз наведених джерел показує, що наявні нормативні та наукові підходи достатньо повно розглядають окремі аспекти безпеки АЕС, зокрема ядерну та радіаційну безпеку, аварійне реагування, фізичний захист, кіберзахист і моніторинг наслідків. Водночас недостатньо формалізованим залишається порядок інтегрованого вибору контрзаходів у разі каскадного порушення кількох критичних функцій АЕС. Саме це зумовлює необхідність розроблення алгоритму, який поєднує технічні, організаційні, цифрові, радіаційні, екологічні та інфраструктурні чинники.

Метою роботи є обґрунтування методики вибору інженерних контрзаходів для захисту атомних електростанцій від каскадних аварій, спрямованої на запобігання порушенню критичних функцій АЕС, локалізацію розвитку аварійного процесу та зменшення радіаційних, техногенних і екологічних наслідків.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання: визначено критичні функції АЕС і чинники, що можуть спричинити каскадний розвиток аварії; обґрунтовано алгоритм інтегрованого вибору інженерних контрзаходів для захисту АЕС від каскадних аварій; систематизовано групи контрзаходів і критерії їх порівняння з урахуванням технічних, радіаційних, цифрових, екологічних та інфраструктурних чинників.

Критичні функції АЕС доцільно розглядати як сукупність технічних, організаційних та інформаційних процесів, від збереження яких залежить можливість підтримання безпечного стану об'єкта. До таких функцій належать охолодження реактора та басейнів витримки, електроживлення систем безпеки, герметизація радіаційно небезпечних середовищ, радіаційний контроль, зв'язок, управління технологічними процесами, фізичний захист, аварійне реагування та функціонування прилеглої інженерної інфраструктури. Порушення хоча б однієї з цих функцій може створювати умови для послідовного розвитку аварійної ситуації, коли локальна відмова переходить у взаємопов'язане порушення роботи кількох систем.

У межах цієї роботи каскадна аварія розглядається як аварійний процес, за якого первинна відмова або пошкодження окремої системи АЕС спричиняє послідовне порушення інших критичних функцій, що призводить до розширення масштабу небезпеки, ускладнення аварійного управління та зростання радіаційних, техногенних або екологічних наслідків.

Узагальнення критичних функцій АЕС, можливих чинників їх порушення та каскадних наслідків наведено в Таблиці 1.

Аналіз даних Таблиці 1 показує, що найбільш небезпечними для каскадного розвитку аварії є ті порушення, які одночасно впливають на кілька функцій безпеки. Насамперед це стосується втрати електроживлення, порушення охолодження, відмови систем управління і зв'язку, а також обмеження доступу до прилеглої інфраструктури. Саме ці функції мають розглядатися як пріоритетні під час вибору інженерних контрзаходів.

Функція охолодження належить до базових умов збереження безпечного стану АЕС. Її порушення може бути пов'язане з відмовою насосного обладнання, пошкодженням трубопроводів, втратою водопостачання, зниженням ефективності теплообміну або неможливістю відведення залишкового тепла. У разі втрати охолодження аварійний процес може поширюватися на інші системи: електроживлення, аварійний контроль, систему управління та засоби радіаційного моніторингу. Тому під час вибору контрзаходів необхідно оцінювати не лише стан основної системи охолодження, а й наявність резервних джерел води, автономних засобів подавання теплоносія та технічну можливість відновлення тепловідведення після пошкодження окремих елементів (IAEA, 2020).

Функція електроживлення забезпечує роботу систем охолодження, контролю, управління, зв'язку, освітлення, вентиляції та аварійного моніторингу. Її порушення може спричинити втрату керованості частини технологічних процесів, обмеження доступу до даних про стан обладнання та зниження ефективності аварійного реагування. Каскадний розвиток аварії в такому випадку може відбуватися через послідовне відключення систем, залежних від електроживлення. Для запобігання цьому алгоритм вибору контрзаходів має враховувати стан

основних і резервних джерел живлення, автономність їх роботи, захищеність кабельних трас, розподільчих пристроїв і можливість оперативного відновлення електропостачання.

Таблиця 1. Критичні функції АЕС та чинники їх порушення при каскадному розвитку аварії

Критична функція АЕС	Можливі чинники порушення	Ймовірний каскадний наслідок	Напрямок контрзаходів
Охолодження реактора та басейнів витримки	Відмова насосів, пошкодження трубопроводів, втрата водопостачання, порушення теплообміну	Перегрів обладнання, зростання аварійного навантаження на суміжні системи	Резервування охолодження, автономні джерела води, мобільні засоби подавання теплоносія
Електроживлення	Втрата зовнішнього живлення, пошкодження кабельних трас, відмова резервних джерел	Зупинка систем охолодження, моніторингу, зв'язку та управління	Резервні й автономні джерела живлення, захист розподільчих систем, дублювання ліній
Герметизація	Пошкодження бар'єрів, деформації конструкцій, розгерметизація інженерних систем	Поширення радіоактивних речовин за межі контрольованих зон	Ізоляція пошкоджених ділянок, контроль тиску й середовища, додаткові інженерні бар'єри
Радіаційний контроль	Відмова датчиків, втрата передачі даних, обмеження доступу до зон контролю	Недостатність даних для вибору захисних заходів	Дублювання контролю, мобільні вимірювальні засоби, геопросторова прив'язка даних
Зв'язок і управління	Пошкодження каналів зв'язку, цифрових систем, пунктів управління	Затримка аварійних дій, втрата координації персоналу	Резервні канали зв'язку, захист цифрових систем, дублювання процедур управління
Прилегла інфраструктура	Пошкодження доріг, електромереж, водопостачання, пожежної інфраструктури	Обмеження доступу, доставки ресурсів і реагування	Просторове профілювання території, альтернативні маршрути, розміщення резервних ресурсів

Герметизація виконує функцію утримання радіоактивних речовин у межах передбачених бар'єрів. Її порушення може бути наслідком механічного пошкодження конструкцій, втрати щільності інженерних систем, підвищення тиску, температурних деформацій або деградації елементів захисту. У разі втрати герметизації аварія переходить із внутрішньосистемного рівня до рівня потенційного радіаційного впливу на персонал, населення та довкілля. Тому контрзаходи мають передбачати оцінювання стану бар'єрів безпеки, ізоляцію пошкоджених ділянок, контроль параметрів середовища та заходи з обмеження поширення радіоактивних речовин.

Радіаційний контроль забезпечує отримання даних про стан об'єкта, рівень забруднення, дозові навантаження та можливе поширення радіонуклідів. Порушення цієї функції ускладнює оцінювання масштабу аварії та вибір захисних заходів. Якщо дані радіаційного моніторингу відсутні або надходять із затримкою, прийняття рішень щодо доступу персоналу, евакуації, обмеження території і розміщення аварійних підрозділів стає менш обґрунтованим. У цьому випадку алгоритм має передбачати дублювання каналів контролю, використання мобільних засобів вимірювання, просторову прив'язку результатів моніторингу та їх інтеграцію з даними про метеорологічні й гідрогеологічні умови (Краснов, & Рашкевич, 2025; Рашкевич et al., 2025с).

Функції зв'язку та управління забезпечують координацію персоналу, передачу інформації про стан систем, реалізацію аварійних процедур і взаємодію з зовнішніми службами. Їх порушення може призвести до втрати керованості аварійною ситуацією навіть за наявності працездатних технічних систем. Каскадний ефект у такому випадку полягає в тому, що технічна відмова посилюється організаційною неузгодженістю, затримкою команд або неможливістю підтвердити фактичний стан об'єкта. З огляду на це контрзаходи мають

включати резервні канали зв'язку, дублювання систем передачі даних, захист цифрових систем і перевірені процедури аварійного управління (IAEA, 2019; IAEA, 2021).

Стан прилеглої інфраструктури впливає на здатність АЕС підтримувати безпечний режим і реалізовувати аварійні заходи. До таких елементів належать зовнішні лінії електропередачі, дороги, під'їзні шляхи, системи водопостачання, пожежогасіння, зв'язку, логістики, евакуаційні маршрути та території можливого розміщення аварійних ресурсів. Пошкодження цієї інфраструктури може не порушувати технологічні системи безпосередньо, але обмежувати доступ персоналу, техніки, запасів води, палива, мобільних джерел живлення та засобів радіаційного контролю. У зв'язку з цим алгоритм вибору контрзаходів має враховувати не лише стан самої АЕС, а й умови функціонування прилеглої території (Рашкевич, 2023; Рашкевич et al., 2024a).

Каскадний розвиток аварії може бути спричинений поєднанням кількох чинників: втратою охолодження, відмовою електроживлення, пошкодженням систем управління, порушенням герметизації, відсутністю достовірного радіаційного контролю, обмеженням доступу до об'єкта або поширенням небезпечних речовин за межі первинної зони. Такі сценарії не завжди розвиваються миттєво. У частині випадків небезпека наростає в часі через погіршення теплового стану, зниження резервування, накопичення пошкоджень, забруднення території або втрату можливості оперативного втручання (Рашкевич et al., 2025a).

Для систематизації цих зв'язків доцільно розглядати АЕС як сукупність взаємозалежних функціональних блоків. Порушення кожного блоку має оцінюватися за трьома параметрами: вплив на функції безпеки, здатність до резервування або компенсації та можливість поширення наслідків на інші системи. Такий підхід дозволяє визначити, які функції потребують першочергового захисту, які контрзаходи мають бути підготовлені до початку аварійного процесу, а які повинні застосовуватися для локалізації або компенсації вже наявного порушення.

Отже, критичні функції АЕС слід визначати не ізольовано, а через їх взаємозв'язки та здатність впливати одна на одну в аварійному процесі. Каскадний розвиток аварії виникає тоді, коли порушення окремої функції не компенсується резервуванням або організаційними діями та переходить у послідовну втрату інших функцій безпеки. Це обґрунтовує необхідність алгоритму, у якому вибір контрзаходів виконується з урахуванням стану технологічних систем, цифрового управління, радіаційного контролю, інженерної інфраструктури та можливих наслідків для прилеглих територій.

Алгоритм інтегрованого вибору контрзаходів для інженерного захисту АЕС доцільно розглядати як поетапний порядок аналізу загроз, критичних функцій станції, можливих каскадних відмов і наслідків аварійного розвитку. Його призначення полягає у виборі таких технічних, організаційних, захисних і післяаварійних заходів, які дозволяють запобігти порушенню функцій безпеки, локалізувати аварійний процес або зменшити його радіаційні, техногенні та екологічні наслідки.

Вихідною умовою для побудови алгоритму є визначення критичних функцій АЕС. До них належать охолодження реактора та басейнів витримки, електроживлення систем безпеки, герметизація радіаційно небезпечних середовищ, радіаційний контроль, управління технологічними процесами, зв'язок, кіберзахист, фізичний захист і функціонування прилеглої інженерної інфраструктури. Порушення кожної з цих функцій має оцінюватися не ізольовано, а з урахуванням можливого впливу на інші системи. Наприклад, втрата електроживлення може призвести до обмеження роботи систем охолодження, моніторингу, зв'язку та аварійного управління, що створює передумови для каскадного розвитку аварії (IAEA, 2019; IAEA, 2020).

Перший етап алгоритму передбачає ідентифікацію загроз. На цьому етапі визначаються внутрішні технічні відмови, зовнішні впливи, пожежі, порушення електропостачання, відмова систем охолодження, пошкодження інженерних мереж, кіберінциденти, радіаційні ризики та небезпечні процеси на прилеглих територіях. Для кожної загрози встановлюється джерело виникнення, зона впливу, можливий час розвитку, залежність від інших систем і потенційні наслідки для критичних функцій АЕС.

Другий етап полягає в оцінюванні вразливості критичних функцій. Для цього аналізується, які системи забезпечують кожну функцію, які резерви передбачені, які елементи мають найбільшу залежність від зовнішньої інфраструктури та які відмови можуть спричинити ланцюговий розвиток аварії. Такий аналіз дозволяє встановити не лише сам факт наявності загрози, а й можливість її переходу в каскадну подію. У межах цього етапу доцільно оцінювати резервування систем охолодження, автономність електроживлення, захищеність цифрових систем, стан бар'єрів безпеки та доступність засобів аварійного реагування.

Третій етап передбачає побудову сценаріїв каскадного розвитку аварії. Сценарій має описувати послідовність подій: початкове пошкодження або відмова, порушення критичної функції, вплив на суміжні системи, розвиток вторинних наслідків і можливі межі поширення небезпеки. Наприклад, пошкодження зовнішнього електропостачання може перейти у втрату живлення насосного обладнання, порушення охолодження, зростання теплового навантаження, ускладнення контролю параметрів і потребу в застосуванні автономних джерел живлення та мобільних засобів охолодження.

Четвертий етап пов'язаний із вибором контрзаходів.

З урахуванням характеру впливу на аварійний процес інженерні контрзаходи доцільно систематизувати за функціональним призначенням, що наведено в Таблиці 2.

Таблиця 2. Групи інженерних контрзаходів для захисту АЕС від каскадних аварій

Група контрзаходів	Призначення	Приклади заходів	Очікуваний результат
Превентивні	Зменшення ймовірності порушення критичних функцій АЕС	Резервування електроживлення, захист кабельних трас, підвищення фізичної стійкості будівель і споруд, профілактичний контроль обладнання	Зниження ймовірності початкової відмови або пошкодження
Захисні	Зменшення впливу небезпечного чинника на системи АЕС	Інженерні бар'єри, протипожежний захист, захист систем управління, укриття критичного обладнання, кіберзахист	Зменшення масштабу пошкодження та збереження працездатності систем
Локалізаційні	Обмеження поширення аварійного процесу	Ізоляція пошкоджених ділянок, локалізація витоків, обмеження доступу, відсікання аварійних контурів	Недопущення переходу локальної події в каскадну аварію
Компенсувальні	Тимчасове відновлення або заміщення втраченої функції	Мобільні джерела живлення, резервні насоси, автономні засоби охолодження, переносні засоби радіаційного контролю	Підтримання критичних функцій до відновлення штатних систем
Післяаварійні	Контроль наслідків і стабілізація стану об'єкта	Радіаційний моніторинг, дезактивація, екологічне прогнозування, геопросторове профілювання, контроль ґрунтів і вод	Зменшення радіаційних, техногенних та екологічних наслідків
Організаційно-управлінські	Забезпечення узгодженості дій персоналу й аварійних служб	Аварійні плани, дублювання каналів зв'язку, навчання персоналу, сценарії реагування, координація з зовнішніми службами	Скорочення часу реагування та підвищення керованості аварійної ситуації

П'ятий етап алгоритму передбачає порівняння можливих контрзаходів за набором критеріїв. До таких критеріїв належать здатність заходу зберігати або відновлювати критичну функцію, швидкість реалізації, технічна здійсненність, залежність від зовнішньої інфраструктури, потреба в персоналі, вплив на суміжні системи, рівень зменшення ризику та можливість застосування в умовах обмеженого доступу. Для сценаріїв із радіаційними або екологічними наслідками додатково враховуються прогноз поширення радіонуклідів, гідрогеологічні умови, стан ґрунтів і ґрунтових вод, напрямки можливого забруднення та межі зон обмеженого доступу (Рашкевич et al., 2024c; Краснов, & Рашкевич, 2025; Рашкевич et al., 2025c).

Шостий етап полягає у формуванні інтегрованого рішення. Воно не повинно зводитися до вибору одного заходу, оскільки каскадна аварія зазвичай потребує поєднання кількох взаємодоповнювальних контрзаходів. Наприклад, для сценарію втрати електроживлення та порушення охолодження рішення може включати введення резервних джерел живлення, підключення мобільних насосів, забезпечення запасу води, відновлення каналів зв'язку, посилення радіаційного контролю та підготовку до локалізації можливого забруднення. Такий підхід відповідає принципу багаторівневого захисту, за якого безпека об'єкта забезпечується не одним бар'єром, а сукупністю взаємопов'язаних заходів (IAEA, 2024).

Завершальним етапом є моніторинг ефективності прийнятих рішень. Після реалізації контрзаходів необхідно контролювати стан критичних функцій, зміну параметрів технологічних систем, радіаційну обстановку, стан прилеглої інфраструктури та можливе поширення небезпечних чинників. Отримані дані мають використовуватися для уточнення сценаріїв розвитку аварії, коригування контрзаходів і переходу від аварійного реагування до стабілізації стану об'єкта.

Узагальнений алгоритм інтегрованого вибору контрзаходів наведено в Таблиці 3.

Таблиця 3. Алгоритм інтегрованого вибору контрзаходів для інженерного захисту АЕС

Етап алгоритму	Зміст етапу	Вихідні дані	Результат етапу
1. Ідентифікація загроз	Визначення внутрішніх і зовнішніх чинників, здатних порушити роботу АЕС	Дані про технічний стан систем, зовнішні впливи, кіберризики, стан інфраструктури, радіаційні та екологічні загрози	Перелік потенційних загроз для критичних функцій АЕС
2. Визначення критичних функцій	Встановлення функцій, від яких залежить безпечний стан об'єкта	Дані про системи охолодження, електроживлення, герметизації, радіаційного контролю, зв'язку та управління	Перелік функцій, що потребують першочергового захисту
3. Оцінювання вразливості систем	Аналіз здатності систем зберігати працездатність під дією загроз	Відомості про резервування, автономність, захищеність, залежність від зовнішньої інфраструктури	Визначення слабких місць і потенційних точок каскадного розвитку
4. Побудова сценаріїв каскадної аварії	Встановлення послідовності можливих відмов і вторинних наслідків	Дані про взаємозв'язки між системами, часовий розвиток подій, можливі вторинні ефекти	Сценарії переходу локальної відмови в каскадну аварію
5. Вибір груп контрзаходів	Добір превентивних, захисних, локалізаційних, компенсувальних і післяаварійних заходів	Результати аналізу загроз, вразливостей і сценаріїв аварійного розвитку	Перелік можливих контрзаходів для кожного сценарію
6. Порівняння контрзаходів	Оцінювання заходів за ефективністю, швидкістю реалізації, ресурсами та впливом на функції безпеки	Технічні, організаційні, ресурсні, радіаційні та екологічні критерії	Вибір найбільш обґрунтованої комбінації заходів
7. Формування інтегрованого рішення	Поєднання кількох контрзаходів у єдину схему реагування	Обрані заходи, сценарій аварії, стан систем і території	Комплексне рішення щодо інженерного захисту АЕС
8. Моніторинг і коригування	Контроль ефективності реалізованих заходів і уточнення рішень	Дані радіаційного контролю, технічного моніторингу, геопросторового аналізу та екологічного прогнозу	Коригування контрзаходів відповідно до зміни аварійної ситуації

Практичне застосування алгоритму передбачає, що для кожного аварійного сценарію спочатку визначається порушена або потенційно вразлива критична функція, після чого встановлюються суміжні системи, на які може поширитися вплив. Далі формується перелік можливих контрзаходів, які порівнюються за критеріями ефективності, швидкості реалізації, автономності, ресурсної забезпеченості та впливу на інші функції безпеки. За результатами такого порівняння обирається не окремий захід, а раціональна комбінація превентивних, захисних, локалізаційних, компенсувальних і післяаварійних дій.

Для підвищення обґрунтованості вибору інженерних контрзаходів доцільно визначити критерії їх порівняння, які враховують здатність заходу зберігати або відновлювати критичні функції АЕС, швидкість реалізації, автономність, ресурсну забезпеченість, вплив на суміжні системи та радіаційно-екологічний ефект. Узагальнення таких критеріїв наведено в Таблиці 4.

Таблиця 4. Критерії порівняння інженерних контрзаходів

Критерій	Зміст критерію	Що дозволяє оцінити
Вплив на критичну функцію	Чи зберігає або відновлює захід охолодження, живлення, герметизацію, контроль чи управління	Функціональну ефективність заходу
Час реалізації	Скільки часу потрібно для введення заходу в дію	Придатність для аварійної фази
Автономність	Залежність заходу від зовнішнього живлення, води, персоналу, логістики	Стійкість в умовах обмеженого доступу
Ресурсна забезпеченість	Потреба в обладнанні, персоналі, паливі, матеріалах	Реалістичність застосування
Вплив на суміжні системи	Чи не створює захід додаткових ризиків для інших функцій	Безпеку інтегрованого рішення
Радіаційно-екологічний ефект	Здатність зменшити поширення радіонуклідів і забруднення території	Ефективність післяаварійного захисту

Наведені в Таблиці 4 критерії формують методичну основу для порівняння можливих контрзаходів і вибору їх раціональної комбінації з урахуванням характеру загрози, стану критичних функцій АЕС та можливих каскадних наслідків.

Таким чином, методика розглядається як поетапний порядок оцінювання загроз, визначення критичних функцій АЕС, аналізу можливих ланцюгових відмов і вибору комплексу заходів для збереження або відновлення функцій безпеки.

1. Визначено критичні функції АЕС, порушення яких може спричинити каскадний розвиток аварії. До них віднесено охолодження реактора та басейнів витримки, електроживлення систем безпеки, герметизацію радіаційно небезпечних середовищ, радіаційний контроль, зв'язок, управління, фізичний захист і функціонування прилеглої інженерної інфраструктури. Обґрунтовано, що ці функції необхідно розглядати як взаємопов'язану систему, у якій відмова одного елемента може спричинити вторинне порушення суміжних систем і перехід локальної події в каскадну аварію.

2. Обґрунтовано алгоритм інтегрованого вибору інженерних контрзаходів для захисту АЕС від каскадних аварій. Алгоритм передбачає послідовну ідентифікацію загроз, визначення критичних функцій, оцінювання вразливості систем, побудову сценаріїв каскадного розвитку аварії, вибір і порівняння контрзаходів, формування інтегрованого рішення, а також моніторинг і коригування прийнятих заходів. Запропонований підхід дозволяє перейти від реагування на окрему технічну відмову до комплексного управління аварійним процесом із урахуванням технічних, радіаційних, цифрових, екологічних та інфраструктурних чинників.

3. Систематизовано інженерні контрзаходи та критерії їх порівняння для захисту АЕС від каскадних аварій. Контрзаходи згруповано за функціональним призначенням на превентивні, захисні, локалізаційні, компенсувальні, післяаварійні та організаційно-управлінські. Для їх обґрунтованого вибору визначено критерії, що враховують вплив заходу на критичні функції АЕС, час реалізації, автономність, ресурсну забезпеченість, вплив на суміжні системи та радіаційно-екологічний ефект.

Література:

1. Закон України «Про критичну інфраструктуру». (2024). Від 16. 11. 2021 № 1882-IX. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. Поточна редакція від 21. 09. 2024.

2. *Державна інспекція ядерного регулювання України*. (2024). Про внесення змін до Загальних положень безпеки атомних станцій: наказ від 04. 03. 2024 № 195. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України.
3. *Кабінет Міністрів України*. (2019). Про затвердження Загальних вимог з кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури: постанова від 19. 06. 2019 № 518. База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України.
4. КРАСНОВ, В. А., & РАШКЕВИЧ, Н. В. (2025). Оцінка радіаційного впливу під час аварії на сховищі відпрацьованого ядерного палива. *Комунальне господарство міст*. Серія: Інформаційні технології та інженерія, 6 (194), 74-81. DOI: 10.33042/3083-6727-2025-6-194-74-81.
5. РАШКЕВИЧ, Н. В. (2023). Аналіз сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій на територіях України, які зазнали ракетно-артилерійських уражень. *Комунальне господарство міст*, 4 (178), 232-251. DOI: 10.33042/2522-1809-2023-4-178-232-251.
6. РАШКЕВИЧ, Н. В., КРАСНОВ, В. А., & ГУЗЬ, А. С. (2025). Процедури геопросторового профілювання території можливого радіаційного забруднення внаслідок ракетно-артилерійських уражень. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 111, 158-165. DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2025.111.0.158.
7. РАШКЕВИЧ, Н. В., КРАСНОВ, В. А., & РАШКЕВИЧ, О. С. (2025). Теорія і практика розробки інтегрованої моделі оцінювання забруднення ґрунтів та ґрунтових вод на уражених територіях. *Техногенно-екологічна безпека*, 18 (2/2025), 23-33. DOI: 10.52363/2522-1892.2025.2.3.
8. РАШКЕВИЧ, Н. В., РАШКЕВИЧ, О. С., РЕБРОВ, О. В., & ШЕВЧЕНКО, Р. І. (2024). Попередження надзвичайних ситуацій техногенного характеру в зоні бойових дій. *Комунальне господарство міст*, 4 (185), 211-220. DOI: 10.33042/2522-1809-2024-4-185-211-220.
9. РАШКЕВИЧ, Н. В., РУЩАК, І. І., & РАШКЕВИЧ, О. С. (2025). Аналіз динаміки надзвичайних ситуацій, спричинених ракетно-артилерійськими обстрілами. *Комунальне господарство міст*, 4 (192), 400-408. DOI: 10.33042/3083-6727-2025-4-192-400-408.
10. РАШКЕВИЧ, Н. В., ШЕВЧЕНКО, Р. І., & ВОВЧУК, Т. С. (2024). Формування математичної моделі аналізу небезпечного впливу на стан ґрунтових вод міських агломерацій від ракетно-артилерійських уражень. *Комунальне господарство міст*, 1 (182), 229-240. DOI: 10.33042/2522-1809-2024-1-182-229-240.
11. РАШКЕВИЧ, Н. В., ШЕВЧЕНКО, Р. І., & НЕШПОР, О. В. (2024). Формування алгоритму інформаційно-технічного методу попередження надзвичайної ситуації на територіях, що зазнали ракетно-артилерійських уражень. *Комунальне господарство міст*, 3 (184), 223-228. DOI: 10.33042/2522-1809-2024-3-184-223-228.
12. СМІРНОВ, А. В., КРАСНОВ, В. А., & СЕРБИН, В. А. (2025). Оцінка екологічного стану території навколо сховища відпрацьованого ядерного палива. *Безпека людини у сучасних умовах: збірник доповідей XVII Міжнародної науково-методичної конференції*, Харків, НТУ «ХПІ», 4-5 грудня 2025 р., 152-153.
13. IAEA. (2019). Accident management programmes for nuclear power plants. IAEA Safety Standards Series No. SSG-54. Vienna: International Atomic Energy Agency.
14. IAEA. (2020). Design of the reactor coolant system and associated systems for nuclear power plants. IAEA Safety Standards Series No. SSG-56. Vienna: International Atomic Energy Agency.
15. IAEA. (2021). Computer security at nuclear facilities. IAEA Nuclear Security Series No. 17-T (Rev. 1). Vienna: International Atomic Energy Agency.
16. IAEA. (2024). Application of the principle of defence in depth in nuclear safety. INSAG Series No. 27. Vienna: International Atomic Energy Agency.

17. *OECD/NEA*. (2025). Radiological protection during armed conflict: Improving regulatory and operational resilience. Paris: Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development.

Chapter 2. THE DIGITAL ECONOMY, MANAGEMENT, AND INNOVATIVE LEADERSHIP MODELS

- 2.1. Liudmyla Bazyl** – Institute of Vocational Education of the NAES of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Valerii Orlov – Institute of Vocational Education of the NAES of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Mykola Pryhodii – Institute of Vocational Education of the NAES of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- 2.2. Arkadiusz Banasik** – Academy of Silesia, Katowice, Poland
Aleksandra Czupryna-Nowak – Silesian University of Technology, Gliwice, Poland
Joanna Chwał – Academy of Silesia, Katowice, Poland
Agnieszka Szostak – Academy of Silesia, Katowice, Poland
Radosław Dzik – Academy of Silesia, Katowice, Poland
Ewaryst Tkacz – Academy of Silesia, Katowice, Poland
- 2.3. Oksana Blyzniuk** – State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
Halyna Lysak – State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
Olena Zhyliakova – State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine
- 2.4. Odarka Chabaniuk** – Lviv University of Trade and Economics, Lviv Research Institute of Forensic Expertise of the Ministry of Justice of Ukraine, Lviv, Ukraine
Iryna Bernatska – Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S. Z. Gzytsky, Lviv, Ukraine
Nataliia Loboda – Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine
- 2.5. Roman Chernysh** – National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
Liudmyla Andrieieva – National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
Vitalii Serbyn – National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
- 2.6. Vasyl Gorbachuk** – V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Andrii Kamuz – V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Liliia Tovstenko – V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
- 2.7. Volodymyr Konoval** – Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine
Iryna Melnyk – National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
Vladyslav Lomakin – National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
- 2.8. Roman Maiboroda** – National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
Iryna Rudeshko – National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
Oleksandr Sipko – National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
- 2.9. Olena Shevchenko** – National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, Poltava, Ukraine
Svitlana Shcherbinina – National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, Poltava, Ukraine
- 2.10. Valentyna Yuskovych-Zhukovska** – Academician Stepan Demianchuk International University of Economics and Humanities, Rivne, Ukraine

