

[https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-21)

УДК 69:004.9

РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА

THE ROLE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN THE RESEARCH METHODOLOGY OF CONSTRUCTION OBJECTS

Синій С.В., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк), Крантовська О. М., к.т.н., доц., Ксьоншкевич Л. М., к.т.н., доц., Ксьоншкевич А.С., студентка (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса), Сунак П.О., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк)

Synii S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk), Krantovska O.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Ksonshkevych L.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Ksonshkevych A.S., student (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa), Sunak P.O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk)

Розглянуті особливості застосування інформаційно-комунікаційних технологій при формуванні методології досліджень об'єктів будівництва. Проаналізовані основні аспекти їх розвитку та перспективні напрямки. Виявлена тенденція розширення областей застосування програмованих, дистанційно керованих, інтелектуально-автоматизованих та роботизованих технічних засобів для підвищення продуктивності, пришвидшення процесів та поліпшення умов на етапах життєвого циклу будівельного об'єкта міської інфраструктури (починаючи з вишукування, проєктування, виготовлення матеріалів, зведення об'єкта, використання його протягом експлуатації та утримання, оцінки його технічного стану, ремонту та реконструкції, завершуючи ліквідацією об'єкта).

The article examines the features of the use of information and communication technologies in the formation of the methodology of research of objects in the construction industry. For Ukraine, the need and importance of information and communication technologies in the construction sector is undeniable, especially against the background of large-scale destruction of urban infrastructure. Residential, public facilities, critical infrastructure facilities, engineering and transport networks, etc. need restoration, repair, modernization or even complete reconstruction. The authors analyzed the main aspects of the development of information and communication technologies and future promising directions. The trend of expanding the areas of application of programmed, remotely controlled, intelligently automated and robotic technical means for increasing productivity, speeding up processes and improving conditions at any stage of the

construction object's life (starting from the search, design, production of materials, construction of the object, using it for its purpose during the established period of operation, assessment of technical condition, repair, and reconstruction, ending with the liquidation of the object). Attention is paid to such areas as modern development of equipment and technical systems for production needs of construction, repair, and reconstruction; application of automated, robotic devices, machines, technical systems of various mechanical and technological, information and communication complexity; BIM-based on 3D digital models; application of global positioning systems, which performs modeling in the fields of cartography, general planning of territories, navigation and monitoring of vehicles and flows, monitoring and management of urban water supply and sewage networks; implementation of software information and calculation complexes; application of AI. It is noted that the further development of information and communication technologies in the construction industry will lead to an increase in opportunities and prospects for the development of scientific and technical research and will allow the building of relationships to accelerate joint scientific and technical development, and can also provide equal opportunities for all researchers in the global society both at the level of countries and their regions.

Ключові слова: будівництво та реконструкція, експлуатація та утримання, інженерні та транспортні мережі, методологія досліджень, науково-технічні дослідження, інформаційно-комунікаційні технології, BIM-технології, ШІ.

Keywords: construction and reconstruction, operation and maintenance, engineering and transport networks, research methodology, scientific and technical research, information and communication technologies, BIM technologies, AI.

Постановка проблеми. У світі будівельна галузь вважається однією з найбільших за потенціалом застосування інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), а тому актуальним є вивчення питань їх використання у методології досліджень об'єктів будівництва. Беззаперечною та актуальною в умовах сьогодення України є потреба та важливість прискорення розвитку інформаційних та комунікаційних технологій у будівельній сфері, особливо на тлі масштабних руйнувань війною міської інфраструктури та забудови. Відновлення, ремонту, модернізації або навіть повної відбудови потребують як житлові, громадські об'єкти, так і об'єкти критичної інфраструктури, інженерні та транспортні мережі тощо.

Аналіз відомих досліджень і публікацій підтвердив прискорений світовий розвиток комп'ютерних, інформаційних, комунікаційних технологій, впровадження яких у методологію наукових досліджень дозволяє підвищити її якість та ефективність при одночасному збільшенні об'ємів вихідної інформації, складності наукових та технічних завдань, швидкості математичних операцій (враховуючи числові методи досліджень) та інформаційної забезпеченості досліджень, стимулює розвиток інновацій, позитивно впливає на науковий рівень,

конкурентоспроможність результатів досліджень науково-дослідницької структури або окремого науковця [1-28 та ін.].

Результатом вдосконалення та впровадження ІКТ у методології наукових та науково-технічних досліджень у будівництві та цивільній інженерії є сприяння та створення нових технічних, технологічних та економічних можливостей інноваційного розвитку усіх сфер будівництва, що дозволяє підвищувати ефективність, продуктивність, безпечність, виробництва і праці, безпечність, конкурентоздатність об'єктів будівництва.

Мета статті – дослідження особливостей застосування ІКТ у методології досліджень об'єктів будівництва.

Основні завдання: виявити та проаналізувати тенденції розвитку ІКТ та перспективні напрямки їх застосування у методології теоретичних та практичних досліджень об'єктів будівництва.

Виклад основного матеріалу. Розвиток сучасної будівельної галузі спирається на розвиток техніки та технічних систем, технологій у будівництві та цивільній інженерії. Особливо значний прогрес у цих напрямках досягається при адаптації технічних систем ІКТ до вирішення поставлених завдань. Першим етапом зазвичай є впровадження таких технологій у методології наукових та науково-технічних досліджень. Другим – на основі цих методологій досліджень розробка нормативних методик інженерного розрахунку та проектування, будівництва, експлуатації, утримання об'єктів будівництва, законодавчої бази на основі принципів сталого розвитку. При цьому на завершальному третьому етапі розвитку методології наукових та науково-технічних досліджень стає рушієм інновацій, їх поширення і впровадження у виробництво.

Аналіз сучасних досліджень показує, що завдяки новим технічним та технологічним можливостям удосконалених та нових методологій досліджень область їх застосування у будівельній галузі постійно розширюється, що сприяє технічному прогресу у будівництві та інших галузях, дотичних до вирішення спільних з будівництвом завдань (наприклад, об'єднаних: урбан-аналізом; лазерним скануванням пам'яток історії та культури; проектуванням, обстеженням, аналізом та забезпеченням енергоефективності об'єкта будівництва, тощо [1-13, 16-28 та ін.]). Таким чином зростає кількість досліджуваних питань, що мають мультидисциплінарний характер, і ця тенденція є стійкою. ІКТ дозволяють поєднувати різноманітну інформацію в конкретній методиці чи методи досліджень, а отже і вирішувати такі мультидисциплінарні питання.

Сучасний розвиток Індустрії 4.0 [7-9 та ін.] (останнім часом зростає кількість наукових публікацій щодо перспектив розвитку Індустрії 5.0 [10 та ін.] та Індустрії 6.0 [11 та ін.]) характеризується автоматизацією, роботизацією, інтелектуалізацією пристроїв, машин, технічних систем, і ця тенденція у перспективі лише посилюватиметься [8-13 та ін.]. Враховуючи взаємодію людини з цими продуктами розвитку техніки та технологій, у

методології наукових досліджень у будівництві та цивільній інженерії все частіше серед об'єктів досліджень зустрічаються не лише "традиційні" – об'єкти будівництва чи їх конструкції, матеріали, але і системи взаємодії людини з технікою та технічними системами, оточуючим середовищем (наприклад, системи симбіотичної взаємодії людина-машина, людина-робот, людина-кобот [10, 13 та ін.] у виробничих процесах, враховуючи у галузі будівництва), що підтверджує актуальність впливу ІКТ на сучасну тематику технічних досліджень загалом і будівництва зокрема.

У результаті такої взаємодії ІКТ та методології наукових досліджень, у будівництві спостерігається тенденція розширення областей застосування програмованих, дистанційно керованих та інтелектуальних (розумних) автоматизованих та роботизованих технічних засобів – від елементів екзоскелету (а також актуальних для наслідків російсько-української війни – біонічних протезів) для полегшення праці та підвищення продуктивності роботи робітника (наприклад, в позі навприсядки; для перенесення чи монтажу легких та важких будівельних виробів, елементів та вантажів тощо), техніки (пристроїв, машин та установок, роботів та коботів) для виконання технологічних операцій в реальних умовах будівельного майданчика (навантаження/переміщення та складання будівельних виробів, конструкцій та матеріалів; монтажу та демонтажу конструкцій, тощо) до 3D принтерів (для влаштування будівельних конструкцій, друкування елементів будівель, споруд), систем управління технологічними процесами (інформаційно-комунікаційних систем контролю та регулювання робочих параметрів технічних систем; технологій лазерного сканування будівель та споруд, будівельних майданчиків, площ заводської логістики та контролю якості продукції, територій; технологій із застосуванням дронів; тощо).

У сфері інформаційного обміну проектними моделями під впливом розвитку ІКТ на диджиталізацію проектною документації на сьогодні відбувається перехід від систем автоматизованого проектування (САПР) до інформаційного моделювання будівель (BIM), тобто від паперової документації та площинного 2-вимірного автоматизованого проектування (CAD) – до об'ємного відтворення 3-вимірних цифрових моделей. Ця тенденція врахована і українськими нормативами [14, 15 та ін.].

До перспективних та зі стрімким прогресом напрямків використання ІКТ у будівництві та цивільній інженерії належать технології на основі систем глобального позиціонування (GPS), зокрема за допомогою технологій геоінформаційних систем (GIS) здійснюється моделювання: у сферах геодезії і картографії; з генпланування територій; з визначення об'ємних рішень будівель і споруд, інженерних і транспортних мереж; з навігації і моніторингу транспортних засобів і потоків; з моніторингу і управління міськими мережами водопостачання та каналізації; тощо.

Одним з напрямків застосування ІКТ у будівництві та цивільній інженерії, що швидко розвиваються, є розробка та впровадження

програмних інформаційно-розрахункових комплексів. Вони зазвичай складаються з спеціалізованих програмних пакетів, які збирають (в автоматичному режимі чи при ручному введенні даних – текстових, цифрових, схематичних, креслень, картографічних матеріалів, зображень тощо), обробляють (перетворюють інформацію у форму, зручну для подальшої роботи з нею) та зберігають показники з певного напрямку роботи інформаційно-розрахункового комплексу. Далі, створена таким чином база даних підлягає дії математичної обробки, систематизації чи інших інформаційних процесів за допомогою інформаційних та розрахункових програм, які спеціально розроблені чи є на загальнодоступних в інтернеті платформах. Наприклад у будівництві та цивільній інженерії це комплекси програмного забезпечення в областях [1-13, 16-28 та ін.]: геоінформаційних технологій та комп'ютерного моделювання інженерних комунікацій – EPANET, SCADA, Bentley від Bentley Systems, MIKE OPERATIONS, GCC RIKOM та ін.; BIM-технологій – LIPACAP, ANSYS та ін. з адаптацією до багатьох програм CAD-пакетів (AutoCAD Revit, тощо); технологій білінгвових інформаційних систем; технології лазерного сканування; технологій будівельного матеріалознавства з дослідження структури матеріалів. При цьому слід розуміти, що цей наведений перелік інформаційно-розрахункових комплексів є неповним, оскільки постійно розширюється з охопленням все більшої кількості областей досліджень у будівництві та цивільній інженерії та враховуючи їх прикладне значення має зазвичай мультидисциплінарний характер. Тому зважаючи на досить велику різноманітність та кількість відповідних інформаційно-розрахункових програмних продуктів їх уточнений пошук та вибір для потреб наукових досліджень методологічно правильно узгоджувати з визначеною темою досліджень.

Для прогнозування та вивчення явищ, процесів, що відбуваються у матеріалах і конструкціях будівель, споруд та інших об'єктах цивільної інженерії, комп'ютерне моделювання відіграє важливу роль, і у перспективі вона ще більше зростатиме завдяки прогресу можливостей ІКТ. Також при проведенні теоретичних та експериментальних досліджень комп'ютерне моделювання надає змогу вирішувати складні математичні розрахунки [19, 28 та ряд ін.], проводити візуалізацію даних, управляти технологічними процесами, тощо. Відомі поширені програмні продукти MATLAB, LabVIEW, Maple та ін.

Значний потенціал застосування у наукових дослідженнях будівельної сфери набуває технологія штучного інтелекту (ШІ), її впровадження дозволяє отримати нову інформацію та знання, підвищити якість, ефективність, інноваційність виконання таких досліджень. За останнє десятиліття спостерігається особливо бурхливий розвиток застосування ШІ в різноманітних сферах людської діяльності. Рушієм такого розвитку є відповідні наукові дослідження у галузях виробництва та інтеграція їх

результатів у великі проекти. Відповідно в обчислювальних навантаженнях глобальної системи нейромережі відбувається ріст частки розробок програмного забезпечення для ШІ. Це вже спричиняє зростання ринку хмарних послуг для сучасних та перспективних методів отримання та обробки даних. Одночасно із проникненням ШІ у сфери людської діяльності спостерігається тенденція зростання ролі безпекових заходів щодо доступності несанкціонованого користування чутливою інформацією (комерційними таємницями, закритою державною та службовою інформацією, даними наукових досліджень, особистими даними та приватною інформацією людей тощо), аж до впровадження заходів окремого функціонування ШІ-систем. Також, поряд з вирішенням питань безпеки, на порядку денному сучасного розвитку технологій генеративного ШІ гостро постало питання вирішення етичних проблем роботи, розвитку та навчання ШІ-систем.

Висновки. Підсумовуючи все вище сказане слід відмітити, що під впливом ІКТ у сучасній будівельній галузі формується методологія наукових досліджень об'єктів будівництва, яка допомагає краще зрозуміти наукові проблеми та ефективніше їх вирішувати. Впровадження ІКТ в методологію наукових досліджень будівельної галузі не лише нарощує темпи застосування, а й поглиблює існуючі напрямки досліджень, розширяючи їх та збільшуючи частку методів та методик досліджень з використанням ІКТ.

У сфері будівництва та цивільної інженерії постійно зростає частка наукових досліджень, методологія яких формується поєднанням наукових методів та методик з прогресивними досягненнями ІКТ (використовуючи методи комбінації, симбіозу, імплементації, синергії тощо), що дозволяє вирішувати все більш складні технічні, технологічні та розрахункові завдання. Це стосується і сфер будівельного проектування, розрахунку, виробництва, будівництва та реконструкції, експлуатації та утримання об'єктів будівництва.

References

1. Shumanov I., Tabachnikov, S., Nalivayko T. et al. Innovative methods of planning and reconstruction of historical heritage buildings using a 3d scanner. *Municipal Economy of Cities*, 2023, 4(178), 65–71. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-65-71>
2. Melnyk Yu.A., Vereshko O.V., Melnyk O.V., Vereshko A.O. Use modern information technologies for town planning needs. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU. 2023. Vol. 20. P. 171-179. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-08)
3. Synii S.V., Melnyk Yu.A., Sunak P.O., Ksonshkevych L.M., Krantovska O.M. Design of sewerage networks using the principles of SWOT analysis. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU. 2021. Vol. 16. P. 171-179. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22)

4. Rane N., Choudhary S., Rane J. Leading-Edge Technologies for Architectural Design: A Comprehensive Review. *Int. J. Arch. and Plan.* 2023, 3(2), 12–48.
5. Deprêtre A., Jacquindou F., Barroca B., Becue V. Development of an Intensity of Uses Index to Support Design Decision-Making and Improve Urban Development Quality. *Cities*, 2024, 147, 104779. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104779>
6. Synii S. V., Krantovska O. M., Ksonshkevych L. M., Orešković M., Sunak P. O. Rationale of structures of fencing of the territory of the Lutsk Zoo, taking into account the analysis of the history of urbanization of landscape. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU, 2022. Vol. 17. pp. 138-145. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-18)
7. Zairul M. et al. Thematic Trends in Industry 4.0 Revolution Potential towards Sustainability in the Construction Industry. *Sustainability*, 2023, 15(9), 7720.
8. Alaloul W.S. et al. Industrial Revolution 4.0 in the Construction Industry: Challenges and Opportunities for Stakeholders. *Ain Shams Eng. J.* 2020, 11, 225–230.
9. Sunak P. O., Synii S. V., Melnyk Yu. A. et al. Reconstruction of engineering structures and engineering networks, landscape based on laser scanning technology. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU. 2022. Vol. 18. P.147-161. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-16)
10. Pizoń J., Gola A. Human-Machine Relationship – Perspective and Future Roadmap for Industry 5.0 Solutions. *Machines*, 2023, 11(2), 203.
11. Almusaed A., Yitmen I., Almssad A. Reviewing and Integrating AEC Practices into Industry 6.0: Strategies for Smart and Sustainable Future-Built Environments. *Sustainability*. 2023; 15(18), 13464. <https://doi.org/10.3390/su151813464>
12. Guo H., Lin J.-R., Yu Y. Intelligent and Computer Technologies Application in Construction. *MDPI*. 2023. 306p. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-8151-4>
13. *Construction & Robotics: Research Driven Project*. Ed. Sigrid Brell-Cokcan, Thomas Adams. 2021. Vol. 1: Research Paper / SS.
14. DSTU ISO 19650-1:2020 Information management using BIM. Part 1: Concepts and principles (ISO 19650-1:2018, IDT). Kyiv, DP «UkrNDNTs», 2020.
15. DSTU ISO 19650-2:2020 Information management using BIM. Part 2: Delivery phase of the assets (ISO 19650-2:2018, IDT). Kyiv, DP «UkrNDNTs», 2020.
16. Semykina, O., Kuzmina, H. Problems of forming information systems in the urban environment. *Current Problems of Architecture and Urban Planning*, 2023 (65), 260–270. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.65.260-270>
17. Kostrikov, S.V., Chuyev O.S. Analiz dvorivnevnykh urboheosystem cherez zasoby GIS. *Visnyk KHNU*. Kharkiv, Vyd-vo KHNU, 2016. Vyp. 44. S. 98–109.
18. Krantovska O., Ksonshkevych L., Synii S. et al. Modeling of the stress-strain state of a continuous reinforced concrete beam in ANSYS mechanical. *AIP Conference Proceedings*. 2023, Vol. 2684, Is. 1, 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0142710>
19. Ansys. Structures. URL: <https://www.ansys.com/products/structures>
20. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O. et al. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. *LNME*. 2020. pp 643–652.
21. Krantovska O. M., Ksonshkevych L. M., Petrov M. M. et al. Deflections of continuous reinforced concrete elements. *IOP Confer. Ser.: Materials Science and Eng.* 2019, Vol. 708, Num. 1, 012061. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012061>
22. Krantovska O., Petrov M., Ksonshkevych L. et al. Numerical simulation of the stress-strain state of complex-reinforced elements. *Technical Journal*. University North, 2019, Vol. 13, No. 2, pp.110-115. <https://doi.org/10.31803/tg-20190417112619>

23. Alexis J., Amorochio P., Hartmann T. Reno-Inst: An ontology to support renovation projects planning and renovation products installation. *Advanced Engineering Informatics*, 2021 Vol. 50, 101415. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101415>
24. Solovej O.L. Modeli i metody informacijnoyi tehnologiyi upravlinnya rozvytkom system vodopostachannya mist: avtoref. dys. kand. techn. nauk : 05.13.06 – Informacijni tehnologiyi; KNUBA. K., 2013. 18 s.
25. Hamilton S., Charalambous B, Wyeth G. *Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies*. IWA Publishing, 2021. 103 p.
26. Ksonshkevych L.M., Barabash I.V., Krantovska O.M., Synii S.V., Sunak P.O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012092. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>
27. Ksonshkevych L. M., Krantovska O. M., Synii S. V. et al. High-strength modified concrete for the reconstruction of engineering structures and networks, roads. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Lutsk, LNTU. 2022. Vol. 18. P. 52-60. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-07](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-07)
28. RICOM. URL: <https://rikom.city/>

Література

1. Шумаков І., Табачников С., Наливайко Т. та ін. Інноваційні методи планування і реконструкції будівель історичної спадщини з використанням 3d сканера. *Комунальне господарство міст*. Харків: ХНУМГ, 2023. 4(178), С.65-71. <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-65-71>
2. Мельник Ю.А., Верешко О.В., Мельник О.В., Верешко А.О. Використання сучасних інформаційних технологій для містобудівних потреб. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк. ЛНТУ, 2023. Вип. 20. С. 171-179. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-08)
3. Синій С. В., Мельник Ю. А., Сунак П. О., Ксьоншкевич Л. М., Крантовська О. М. Проектування каналізаційних мереж з використанням принципів SWOT-аналізу. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк. ЛНТУ, 2021. Вип. 16. С. 171-179. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6\(16\)-22](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2021-6(16)-22)
4. Rane N., Choudhary S., Rane J. Leading-Edge Technologies for Architectural Design: A Comprehensive Review. *Int. J. Arch. and Plan.* 2023, 3(2), 12-48.
5. Deprêtre A., Jacquinod F., Barroca B., Becue V. Development of an Intensity of Uses Index to Support Design Decision-Making and Improve Urban Development Quality. *Cities*, 2024, 147, 104779. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104779>
6. Синій С. В., Крантовська О. М., Ксьоншкевич Л. М., Орешкович М., Сунак П. О. Обґрунтування споруд огороження території Луцького зоопарку з урахуванням аналізу історії урбанізації ландшафту. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, ЛНТУ, 2022. Вип. 17. С. 138-145. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-18)
7. Zairul M. et al. Thematic Trends in Industry 4.0 Revolution Potential towards Sustainability in the Construction Industry. *Sustainability*, 2023, 15(9), 7720.
8. Alaloul W.S. et al. Industrial Revolution 4.0 in the Construction Industry: Challenges and Opportunities for Stakeholders. *Ain Shams Eng. J.* 2020, 11, 225–230.
9. Сунак П. О., Синій С. В., Мельник Ю. А. та ін. Реконструкція інженерних споруд та мереж, ландшафту на основі технології лазерного сканування. *Сучасні*

технології та методи розрахунків у будівництві. Луцьк, ЛНТУ, 2022. Вип. 18. С.147-161. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-16](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-16)

10. Pizoń J., Gola A. Human-Machine Relationship – Perspective and Future Roadmap for Industry 5.0 Solutions. *Machines*, 2023, 11(2), 203.

11. Almusaed A., Yitmen I., Almssad A. Reviewing and Integrating AEC Practices into Industry 6.0: Strategies for Smart and Sustainable Future-Built Environments. *Sustainability*. 2023; 15(18), 13464. <https://doi.org/10.3390/su151813464>

12. Guo H., Lin J.-R., Yu Y. Intelligent and Computer Technologies Application in Construction. *MDPI*. 2023. 306p. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-8151-4>

13. *Construction & Robotics: Research Driven Project*. Ed. Sigrid Brell-Cokcan, Thomas Adams. 2021. Vol. 1: Research Paper / SS.

14. ДСТУ ISO 19650-1:2020 Управління інформацією з використанням BIM. Ч.1. Концепції та принципи (ISO 19650-1:2018, IDT). Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2020.

15. ДСТУ ISO 19650-2:2020 Управління інформацією з використанням BIM. Ч.2. Етап будівництва (ISO 19650-2:2018, IDT). Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2020.

16. Семикіна О., Кузьміна Г. Проблеми формування інформаційних систем в міському середовищі. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. К. КНУБА, 2023. Вип.65. С.260-270. <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.65.260-270>

17. Костріков, С.В., Чуев О.С. Аналіз дворівневих урбогеосистем через засоби ГІС. Вісник ХНУ. Харків: Вид-во ХНУ, 2016. Вип. 44. С. 98-109.

18. Krantovska O., Ksonshkevych L., Synii S. et al. Modeling of the stress-strain state of a continuous reinforced concrete beam in ANSYS mechanical. *AIP Conference Proceedings*. 2023, Vol. 2684, Is. 1, 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0142710>

19. Ansys. Structures. URL: <https://www.ansys.com/products/structures>

20. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O. et al. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. *LNME*. 2020. pp 643–652.

21. Krantovska O. M., Ksonshkevych L. M., Petrov M. M. et al. Deflections of continuous reinforced concrete elements. *IOP Confer. Ser.: Materials Science and Eng.* 2019, Vol. 708, Num. 1, 012061. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012061>

22. Krantovska O., Petrov M., Ksonshkevych L. et al. Numerical simulation of the stress-strain state of complex-reinforced elements. *Technical Journal*. University North, 2019, Vol. 13, No. 2, pp.110-115. <https://doi.org/10.31803/tg-20190417112619>

23. Alexis J., Amorochio P., Hartmann T. Reno-Inst: An ontology to support renovation projects planning and renovation products installation. *Advanced Engineering Informatics*, 2021 Vol. 50, 101415. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101415>

24. Соловей О.І. Моделі і методи інформаційної технології управління розвитком систем водопостачання міст : автореф. дис. к.т.н. КНУБА. К., 2013. 18 с.

25. Hamilton S, Charalambous B, Wyeth G. *Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies*. IWA Publishing, 2021. 103 p.

26. Ksonshkevych L.M., Barabash I.V., Krantovska O.M., Synii S.V., Sunak P.O. Disperse reinforced concrete with polycarboxylate addition on a mechanically activated binder. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. N 1. 012092. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/708/1/012092>

27. Ксьоншкевич Л.М., Крантовська О.М., Синій С.В. та ін. Модифіковані високоміцні бетони для реконструкції інженерних споруд та мереж, доріг. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк. ЛНТУ, 2022. Вип. 18. С. 52-60. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8\(18\)-07](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-8(18)-07)

28. PIKOM. URL: <https://rikom.city/>