

УДК 69:004.9

РОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕТОДОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ

THE ROLE OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN ENGINEERING NETWORK RESEARCH METHODOLOGY

Синій С.В., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк), Ксьоншкевич Л.М., к.т.н., доц., Крантовська О.М., к.т.н., доц. (Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса), Крантовський І.О., магістр (Національний університет "Одеська політехніка", Одеса), Орешкович М., к.т.н., доц. (Північний університет, Вараздін, Хорватія)

Synii S.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University, Lutsk), Ksonshkevych L.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Krantovska O.M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa), Krantovskiy I.O., master (National university "Odesa polytechnic", Odesa), Orešković M., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (University North, Varaždin, Croatia)

Розглянуто напрямки застосування інформаційно-комунікаційних технологій у методології досліджень інженерних мереж (водопостачання та каналізації, тепlopостачання, опалення та вентиляції, газопостачання). Проаналізовано тенденції розвитку впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у інженерних мережах, яке на сьогодні відбувається на різних рівнях технічної та технологічної складності. Адаптація та інтеграція інформаційно-комунікаційних технологій у інженерні мережі дозволяє розглядати об'єкти досліджень у методології досліджень інженерних мереж як ефективне інтегроване виробничо-технологічне середовище, як основа інтелектуальної техніко-технологічної системи з функціями самомоніторингу, самоаналізу та саморегулювання.

The article examines the directions of application of information and communication technologies in the methodology of theoretical and practical studies of engineering networks (water supply and sewerage, heat supply, heating and ventilation, gas supply), which are laid in buildings and structures, and are also an important part of the infrastructure of settlements. Development trends and prospects for the introduction of information and communication technologies in engineering networks are analyzed. It was noted that such implementation currently takes place at various levels of technical and technological complexity. In particular, this happens from the technically simple improvement of automation processes for measuring engineering network parameters to

the technically and theoretically complex process construction of flexible multi-organizational structures of intelligent engineering network management systems.

In recent decades, there has been a dynamic development of the processes of adaptation and integration into engineering networks of advanced technical systems of information and communication technologies. Such dynamism makes it possible to consider research objects in the engineering network research methodology as an effective integrated production and technological environment. It has been established that the development of this environment is subject to the direction of the formation of an intelligent technical and technological system, which independently performs the functions of monitoring, analysis, and regulation and thus fulfills the tasks of intelligent management of the engineering network programmed by humans. The use of information and communication technologies improves the research methodology regarding work with scientific and technical information; technical design support; application of mathematical apparatus; modeling of objects and processes; preparation, conducting, and obtaining the results of experimental and theoretical studies; generalization, presentation, distribution of research results; management of the scientific research work, intellectualization of engineering networks.

Ключові слова: інженерні мережі, будівництво, реконструкція, модернізація, експлуатація, методологія досліджень, науково-технічні дослідження, інформаційно-комунікаційні технології.

Keywords: engineering networks, construction, reconstruction, modernization, operation, research methodology, scientific and technical research, information and communication technologies.

Постановка проблеми. Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) зумовив зростання їх ролі у сучасній методології досліджень інженерних мереж та відповідає тенденції підвищення не лише техніко-технологічних, але й екологічних та економічних, соціальних вимог до функціонування інженерних мереж в умовах світових процесів урбанізації, інтелектуалізації середовища діяльності людини. Відповідні прогресивні зміни у методології досліджень мають торкнутися практично усіх фундаментальних та прикладних досліджень інженерних мереж, а тому продовження та розширення кола питань із зазначеної тематики досліджень має науково-практичну цінність і зумовлює актуальність їх вивчення з метою широкого впровадження.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Проведений аналіз публікацій досліджень показав, що сучасний розвиток теорії та методології досліджень інженерних мереж як складових досліджень у будівництві часто спирається на загальнобудівельний підхід та мультидисциплінарні методи (наприклад, методології досліджень у різноманітних сферах будівництва на основі методу скінченних елементів, SWOT-аналізу тощо), тісно пов'язаний з використанням ІКТ і така методологія постійно перебуває у полі зору та активно застосовується вітчизняними та закордонними дослідниками [1-20 та ін.]. Однак враховуючи широкий спектр питань, що

досліджуються з використанням ІКТ, ця проблематика розглянута недостатньо.

Виходячи з цього, аналіз та визначення перспектив розвитку можливостей ІКТ у науково-практичних дослідженнях інженерних мереж сприятиме технічному прогресу у розвитку міської інфраструктури та відповідає цілям сталого розвитку населених пунктів.

Зважаючи на швидкі темпи розвитку сучасних ІКТ, стаття присвячена аналізу актуальних їх можливостей для методології досліджень інженерних мереж.

Мета статті – дослідження особливостей застосування ІКТ у методології досліджень інженерних мереж.

Основні завдання: виявити та проаналізувати тенденції розвитку ІКТ та перспективні напрямки їх застосування у методології теоретичних та практичних досліджень інженерних мереж.

Виклад основного матеріалу. ІКТ поступово стають одним з ключових засобів підвищення ефективності методології досліджень інженерних мереж, їх важливість у відповідних теоретичних дослідженнях та практичній діяльності постійно зростає.

Перспективними у дослідженнях у сфері будівництва та цивільної інженерії, враховуючи й більшість напрямків науково-технічних досліджень інженерних мереж, що стосуються їх будівництва, реконструкції, модернізації, експлуатації та утримання є автоматизація робочих процесів з активним використанням динамічно зростаючих можливостей ІКТ. Це також впливає з проаналізованих результатів ряду досліджень та впроваджених практик, таких як [1, 7, 8, 10-15, 18-25 та ін.].

Зокрема, в інженерних мережах активно впроваджуються технології автоматичної ідентифікації мікропроцесорним пристроєм (комп'ютером, програмованим контролером) масивів вимірних даних параметрів технологічних процесів [1, 7, 8, 10, 12, 13 та ін.], що зібрані та передані від датчиків, засобів вимірювання.

Завдяки автоматизації технологічних процесів (шляхом автоматизованого збирання та передачі даних замість їх вводу людиною вручну з клавіатури, ідентифікації та кодування інформації, відслідковування та контролю в режимі онлайн роботи як самих досліджуваних об'єктів так і пристроїв вимірювання параметрів цієї роботи) суттєво підвищується оперативність виробничих процесів, що сприяє підвищенню ефективності прийняття рішень людиною або реагування інтелектуальної системи щодо керування технологічним процесом. Така оперативність особливо важлива для запобігання аварійних ситуацій різного роду та масштабу на зовнішніх та внутрішніх системах міських інженерних мереж (водопостачання, каналізації, тепlopостачання та вентиляції, газопостачання тощо).

Важливою технічною можливістю ІКТ для методології досліджень інженерних мереж є також дистанційність взаємодії з об'єктом досліджень, оскільки особливостями цих мереж є: їх розгалуженість; значні віддалі між їх пристроями, обладнанням; важкодоступне для візуального та технічного обстеження прокладання їх ділянок (у будівельних конструкціях, важкодоступних місцях будівель та споруд, підземне та надземне тощо).

На сучасному технічному рівні ІКТ (враховуючи розвиток технологій ВІМ, ГІС, ІІІ, хмарних, мобільного зв'язку та інтернету речей, лазерного сканування тощо) проблема дистанційності взаємодії в інженерних мережах з об'єктом досліджень стала практично повністю вирішеною, а тому на сьогодні удосконалення інженерних систем в цьому напрямку продовжується шляхом розширення сфери застосування технічних та технологічних способів та методів дистанційної комунікації, доступності, роботизації та інтелектуалізації мереж, як це бачимо у [1, 15 та ін.].

Наприклад, для потреб інформаційної технології (ІТ) надання послуг онлайн-системи білінгу [11, 14 та ін.] у ЖКГ активно розвивається дистанційна (без потреби поквартирного обходу людиною-контролером) технологія збору даних показників водолічильників. Зокрема, реалізація збирання даних відбувається із застосуванням ІТ дистанційної періодичної (з частотою орієнтовно раз на 10 с) передачі даних (наприклад, радіоканалом типу мобільного зв'язку) від усіх водолічильників усіх будинків конкретної вулиці. Вони збираються при русі вулицею автомобіля, в салоні якого людина-оператор керує системою дистанційного зчитування даних на ноутбук(ки) чи інші технічні засоби. Далі, зібрані таким чином дані з водолічильників системи водопостачання населеного пункту переносяться на сервер підприємства послуг з водопостачання (наприклад USB-кабелем чи флешкою). Зазвичай програмне забезпечення такої технології дозволяє збирати, систематизовувати дані від водолічильників, обробляти та зберігати результати, передавати інформацію в межах пристроїв цієї ІТ та комунікувати з іншими ІКТ – білінгу, інформаційно-розрахунковими комплексами тощо.

Іншим прикладом аналогічної ІТ для потреб білінгу у теплопостачанні багатоквартирних житлових будинків є технологія дистанційної передачі даних про споживання тепла від опалювальних приладів квартир, яка зокрема актуальна для більшості збудованих до 2012-х років багатоквартирних будинків населених пунктів України із загальнобудинковою системою опалення, стояки якої подають теплоносій вздовж зовнішніх стін будинку вертикально об'єднуючи подачу тепла до опалювальних приладів різних квартир. При такій системі точний облік споживання тепла окремою квартирою складно і дорого, а тому недоцільно виконувати від приладів облік тепла, інсталюваних у трубопроводі системи перед практично кожним опалювальним приладом. Реконструкція (чи модернізація) такої загальнобудинкової системи опалення в систему з

горизонтальними петлями розподільчих трубопроводів для об'єднання усіх опалювальних приладів квартири у складі окремих поквартирних систем опалення є для мешканців також складною (демонах-монтаж системи) і дорогою (а в окремих випадках це і недоцільні витрати на демонтаж порівняно нової системи опалення), тривалою (враховуючи потребу розробки нового проекту), а тому не набула практичного поширення у багатоквартирних житлових будинках.

Як варіант фінансово доступного для мешканців багатоквартирних будинків та з мінімальними обсягами будівельних робіт на сходових клітках і в тепловому пункті будинку вирішення цієї проблеми є застосування ІТ з влаштуванням реєстраторів тепла на кожному опалювальному приладі (операції вимірювання та періодичної дистанційної передачі даних), передачі радіосигналом даних від опалювальних приладів до концентраторів даних на сходових клітках (операції збору, систематизації та періодичної дистанційної передачі даних), які в свою чергу передають радіосигналом дані до серверів секцій будинку (для багатосекційного багатопверхового будинку) або відразу до загальнобудинкового сервера (операції збору, систематизації, зберігання та періодичної дистанційної передачі даних). Від загальнобудинкового сервера дані збираються автоматично через кабельні мережі зв'язку на сервер підприємства надання послуг теплопостачання або періодично – при русі вулицею автомобіля, в салоні якого людина-оператор керує системою дистанційного зчитування даних на ноутбук(ки) чи інші технічні засоби. Функціональність програмного забезпечення та комунікацій такої технології з іншими ІКТ дозволяють виконувати завдання операцій з обробки даних роботи тепломережі аналогічні з розглянутою вище технологією збору даних від усіх водолічильників на мережі водопостачання території забудови населеного пункту.

Покажемо у даному випадку є те, що технічна задача з поквартирного обліку тепла завдяки застосуванню ІТ вирішується без будь-якого втручання в конструкцію та роботу системи опалення чи теплопостачання. Таким чином, за допомогою ІТ використано принципово новий підхід до вирішення інженерного завдання, що дозволяє уникнути притаманних реконструкції [10 та ін.] різноманітних ризиків з перевитрат коштів та зниження ефективності інженерної системи.

За останні десятиліття спостерігається динамічний розвиток процесів адаптації та інтеграції у інженерні мережі прогресивних технічних систем ІКТ, які активно впроваджуються виробниками продукції [1, 8, 14, 15, 21-25 та ін.] для інженерних мереж та загалом галузі будівництва.

Узагальнюючи виявлені тенденції слід відзначити, що у методології досліджень інженерних мереж застосування ІКТ охоплює все більше коло питань теоретичного та практичного значення.

Важливим кроком у цьому напрямку є застосування різноманітних програмних комплексів для вирішення складних завдань вимірювання параметрів, моделювання, аналізу та прогнозування, керування робочими процесами інженерних мереж на основі програмно-технічних, програмно-розрахункових, інформаційно-розрахункових пакетів для проведення досліджень та контрольованого управління робочими процесами за допомогою комп'ютерів (зазвичай разом з настінними розробляються і мобільні додатки програмних комплексів – для планшетів, як от у вітчизняній розробці [20]) чи робочих станцій з набором периферійних пристроїв у складі локальних і глобальних комп'ютерних мереж.

Використання у методології досліджень інженерних мереж таких програмних комплексів дозволяє науковцям та інженерам-виробничникам розглядати об'єкти досліджень як ефективне інтегроване виробничо-технологічне середовище (починаючи від моніторингу вихідних даних і закінчуючи контрольованим регулюванням параметрів роботи інженерної мережі), розвиток якого підпорядковується напрямку формування інтелектуальної техніко-технологічної системи, яка самостійно здійснює функції свого моніторингу, аналізу та регулювання і таким чином виконує запрограмовані людиною завдання інтелектуального управління інженерною мережею.

Отже, застосування ІКТ підвищує автоматизацію, інтелектуалізацію, оперативність технічних та технологічних питань виконання досліджень інженерних мереж, вдосконалює методологію досліджень щодо:

- роботи з науково-технічною інформацією;
- технічного забезпечення проектування (враховуючи вимоги до використання BIM, як от [26, 27]);
- застосування математичного апарату;
- моделювання об'єктів і процесів (в тому числі створення інформаційних моделей);
- підготовки, проведення та отримання результатів експериментальних та теоретичних досліджень;
- узагальнення, презентації, поширення результатів досліджень;
- управління НДР, інтелектуалізації інженерних мереж.

Висновки. Перспективним є впровадження ІКТ у інженерних мережах, яке на сьогодні відбувається на різних рівнях технічної та технологічної складності – від удосконалення процесів автоматизації вимірювань параметрів роботи інженерних мереж до побудови процесів гнучких мультиорганізаційних структур інтелектуальних систем управління інженерними мережами.

Динамічний розвиток адаптації та інтеграції у інженерні мережі прогресивних технічних систем ІКТ дозволяє розглядати об'єкти досліджень у методології досліджень інженерних мереж як ефективне інтегроване виробничо-технологічне середовище, розвиток якого

підпорядковується напрямку формування інтелектуальної техніко-технологічної системи з функціями самомоніторингу, самоаналізу та саморегулювання.

References

1. 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>
2. 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>
3. Ansys. URL: <https://www.ansys.com/>
4. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O. et al. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2020. pp 643–652. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_64
5. 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>
6. 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>
7. Aleinikova A., Bondarenko D., Goncharenko D. et al. *Methodological principles for informational and technological monitoring of the stable operation of the sewerage networks*: Monograph. Kharkiv, Rarities of Ukraine, 2022. 272 p.
8. *Construction & Robotics: Research Driven Project*. Ed. Sigrid Brell-Cokcan, Thomas Adams. 2021. Vol. 1: Research Paper / SS. URL: <https://publications.rwth-aachen.de/record/843254/files/843254.pdf>
9. 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)
10. 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>
11. Solovej O.L. *Modeli i metody informacijnoyi tehnologiyi upravlinnya rozvytkom system vodopostachannya mist: avtoref. dys. kand. texn. nauk : 05.13.06 – Informacijni tehnologiyi*; KNUBA. K., 2013. 18 s.
12. Zamanian S. et al. Resilience of Sewer Networks to Extreme Weather Hazards: Past Experiences and an Assessment Framework. *Pipelines* 2020. 2020, pp.50-59.
13. Caradot, N., Rouault, P., Clemens, F., Cherqui, F. Evaluation of uncertainties in sewer condition assessment. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2018. 14(2), pp 264–273. <https://doi.org/10.1080/15732479.2017.1356858>
14. Синій С. В. Напрямки розвитку технологій моніторингу в системах водопостачання міста Луцька. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, ЛНТУ, 2017. Вип. 7. С. 227-232.
15. Hamilton S, Charalambous B, Wyeth G. *Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies*. IWA Publishing, 2021. 103 p. <https://doi.org/10.2166/9781780409207>

16. Rozum R.I., Buriak M.V., Vitrovyi A.O., Voloshyn R.V. [ta in.] Heodeziia ta zemleustrii: monohrafiia; za zah. red. R.I. Rozuma. Ternopil: TNEU, 2020. 247 s.
17. 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>
18. 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)
19. 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)
20. RICOM. URL: <https://rikom.city/>
21. Danfoss. URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/>
22. Wilo Ukraine. URL: <https://wilo.com/ua/uk/БІЛО-УКРАЇНА/>
23. Grundfos Ukraine. URL: <https://www.grundfos.com/ua/contact>
24. Herz Ukraine. URL: <https://herz.ua/>
25. Vents. URL: <https://vents.ua/>
26. DSTU ISO 19650-1:2020 Information management using BIM. Part 1: Concepts and principles (ISO 19650-1:2018, IDT). Kyiv, DP «UkrNDNTs», 2020.
27. 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.

Література

1. 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>
2. 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>
3. Ansys. URL: <https://www.ansys.com/>
4. Pasichnyk R., Pasichnyk O., Uzhegova O. et al. Calculation Optimization of Complex Shape Shells by Numerical Method. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2020. pp 643–652. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22365-6_64
5. 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>
6. 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>
7. Aleinikova A., Bondarenko D., Goncharenko D. et al. *Methodological principles for informational and technological monitoring of the stable operation of the sewerage networks*: Monograph. Kharkiv, Rarities of Ukraine, 2022. 272 p.
8. *Construction & Robotics: Research Driven Project*. Ed. Sigrid Brell-Cokcan, Thomas Adams. 2021. Vol. 1: Research Paper / SS. URL: <https://publications.rwth-aachen.de/record/843254/files/843254.pdf>

9. 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)
10. 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>
11. Соловей О.Л. Моделі і методи інформаційної технології управління розвитком систем водопостачання міст : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.06 – Інформаційні технології; КНУБА. К., 2013. 18 с.
12. Zamanian S.et al. Resilience of Sewer Networks to Extreme Weather Hazards: Past Experiences and an Assessment Framework. *Pipelines* 2020. 2020, pp.50-59.
13. Caradot, N., Rouault, P., Clemens, F., Cherqui, F. Evaluation of uncertainties in sewer condition assessment. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2018. 14(2), pp 264–273. <https://doi.org/10.1080/15732479.2017.1356858>
14. Синій С. В. Напрямки розвитку технологій моніторингу в системах водопостачання міста Луцька. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк: ЛНТУ, 2017. Вип. 7. С. 227-232.
15. Hamilton S, Charalambous B, Wyeth G. *Improving Water Supply Networks: Fit for Purpose Strategies and Technologies*. IWA Publishing, 2021. 103 p. <https://doi.org/10.2166/9781780409207>
16. Розум Р.І., Буряк М.В., Вітровий А.О., Волошин Р.В. [та ін.] Геодезія та землеустрій: монографія; за заг. ред. Р.І. Розума. Тернопіль, ТНЕУ, 2020. 247с.
17. Ksonshkevych L.M., Varabash 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>
18. 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)
19. 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)
20. РІКОМ. URL: <https://rikom.city/>
21. Danfoss. URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/>
22. Віло Україна. URL: <https://wilo.com/ua/uk/ВІЛО-УКРАЇНА/>
23. ТОВ "Грундфос Україна". URL: <https://www.grundfos.com/ua>
24. ГЕРЦ Україна. URL: <https://herz.ua/>
25. Вентс. URL: <https://vents.ua/>
26. ДСТУ ISO 19650-1:2020 Управління інформацією з використанням BIM. Ч.1. Концепції та принципи (ISO 19650-1:2018, IDT). Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2020.
27. ДСТУ ISO 19650-2:2020 Управління інформацією з використанням BIM. Ч.2. Етап будівництва (ISO 19650-2:2018, IDT). Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2020.