

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.13.270-277

УДК 69: 658

Білов Ю.О.,
yurabella1@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2374-2632,
Запорізький національний університет

МАТЕМАТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У БУДІВНИЦТВІ

Розглядаються методи математичної оптимізації організаційних процесів у будівництві з урахуванням сучасних інформаційних технологій. Зокрема, аналізується застосування математичних моделей для покращення ефективності управлінських рішень, зниження ризиків і підвищення точності прогнозів, що стосуються ресурсного забезпечення, планування термінів виконання робіт і координації діяльності учасників будівельних проєктів. Метою цього дослідження є аналіз складності сучасних будівельних проєктів, виявлення основних організаційних проблем та розробка математичного інструментарію для оптимізації організаційних процесів у будівництві з використанням інформаційних систем. Окрему увагу приділено впровадженню інформаційних систем, як функціонал математичного інструментарію, що інтегрують дані про всі етапи будівництва. Це дозволяє оптимізувати взаємодію між учасниками проєкту, забезпечуючи точний облік ресурсів, контроль за термінами та зменшення витрат. Визначено, що математичний інструментарій алгоритмічно-критеріального моделювання параметричної оптимізації організаційних процесів у будівництві є діючим рішенням з комплексного балансування за всіма видами ресурсів, розрахунку термінів будівництва, скорочення виробничої собівартості, та кошторисної вартості об'єкта в цілому, у поєднанні з інформаційними технологіями дозволяє знизити вплив стохастичних факторів, підвищуючи стійкість будівельних процесів. Завдяки таким технологіям можливо не лише здійснювати планування та моніторинг у реальному часі, але й приймати більш обґрунтовані рішення на всіх етапах проєкту. Стаття також висвітлює конструювання математичного інструментарію та інформаційних систем в умовах сучасного будівництва, що дозволяє досягти більшої ефективності, економічної вигоди та високої якості виконання робіт.

Ключові слова: організація будівельних процесів; цифровізація; математичний інструментарій; оптимізація.

Постановка проблеми. Проблема, з якою стикається будівельна галузь, полягає в нестабільній політико-економічній ситуації в країні, що впливає на

динаміку зростання вартості будівельно-монтажних робіт, ускладнює будівельні проекти та створює необхідність контролю за термінами їх реалізації.

Організація будівельного проекту — це багатофазовий процес, який охоплює значну кількість учасників, етапів, ресурсів та управлінських рішень. Кожен проект є унікальним: від невеликих об'єктів до масштабних інфраструктурних ініціатив, він вимагає ретельної координації, гнучкого планування й чіткого розподілу відповідальності. Вимагає оптимального розподілу матеріально-трудових ресурсів у межах організації будівельного виробництва. Відсутність належного підходу до оптимізації ускладнює аналіз системи організаційних процесів [1,7,9].

Належне управління будівельним проектом передбачає не лише планування етапів будівництва, а й ефективну координацію всіх учасників, своєчасне постачання матеріалів, контроль якості, термінів і бюджету. У реальних умовах, особливо при реалізації середніх та великих проектів, виникає безліч складнощів, які суттєво впливають на хід будівництва й фінансові показники [12].

Саме тому виникає потреба у впровадженні сучасних інструментів, здатних об'єднати всі елементи управління в єдину цифрову систему, що базується на математичному інструментарії для оптимізації організаційних процесів у будівництві — зокрема через розробку ефективних алгоритмічно-критеріальних моделей параметричної оптимізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останнього десятиліття спостерігається активне зростання наукового інтересу до проблем цифровізації будівництва та впровадження сучасних інформаційних систем у процеси управління проектами. Дослідники акцентують увагу на складності організаційної складової будівельних проектів і необхідності систематизації завдань, пов'язаних з оптимізацією будівельних процесів.

У роботах українських авторів, зокрема таких як В.І. Анін, І.А. Арутюнян, Н.О. Данкевич, І.В. Іванова, В.О. Поколенко, А.В. Радкевич, Г.І. Терещенко, О.А. Тугай, закладено теоретичні основи оптимізації будівельного виробництва та визначено методологічний базис впровадження оптимізаційних моделей в організацію будівельних проектів [1,4,5,9].

У низці публікацій (Journal of Construction Engineering and Management, Automation in Construction, Будівельне виробництво, Вісник КНУБА) наголошується на позитивному впливі впровадження ERP-систем на процес управління ресурсами, витратами, логістикою та документообігом у будівництві. Також розглядаються переваги мобільних та хмарних технологій, які дозволяють здійснювати управління будівництвом у режимі реального часу.

Аналіз робіт В.І. Ковальчука, М.О. Паламарчука та Т.Ю. Марченко вказує на актуальність дослідження цифрових рішень для оптимізації логістики, зниження витрат і підвищення якості контролю у великих інфраструктурних проєктах. Водночас, у публікаціях зазначається, що одним з головних бар'єрів на шляху цифрової трансформації будівельної галузі залишається опір змінам з боку персоналу, а також обмежена інтегрованість ІТ-систем між різними підрядниками [3,6].

Загалом, наукові джерела підтверджують, що використання інформаційних систем у будівництві сприяє підвищенню ефективності управлінських рішень, зниженню ризиків, а також оптимізації всіх основних процесів — від проєктування до здачі об'єкта в експлуатацію. Однак, подальші дослідження необхідні для оцінки впливу цифрових інструментів на конкретні види будівельних робіт, а також для розробки ефективних стратегій впровадження таких систем в умовах українського ринку.

Формулювання цілей. Тому запропоновано математичний інструментарій алгоритмічно-критеріального моделювання параметричної оптимізації організаційних процесів у будівництві, що забезпечує узгодженість між часовими показниками проєкту, матеріальними потоками та вартісними параметрами, а також сприяє автоматизації організаційно-технологічних процесів і впровадженню інтелектуальних систем моніторингу ресурсів.

Актуальність і новизна. Сучасне будівництво — це складна, багатогранна галузь, яка потребує високого рівня організації, точного планування й ефективного управління. У добу цифрової трансформації, коли технології стрімко проникають в усі сфери людської діяльності, будівельна галузь також зазнає суттєвих змін. Попри це, багато проєктів усе ще реалізуються із використанням застарілих підходів, що призводить до численних труднощів, затримок, перевитрат та зниження якості.

Будівельні проєкти, як правило, відзначаються високим рівнем складності, адже охоплюють безліч учасників — замовників, підрядників, субпідрядників, постачальників матеріалів, проєктувальників, контролюючі органи тощо. Кожен з них має власні цілі, інтереси та зони відповідальності, і ефективна взаємодія між ними є критично важливою для успішної реалізації проєкту. Водночас, численні зміни, що відбуваються у процесі будівництва, вимагають гнучкості, прозорості та здатності оперативно реагувати на нові виклики.

На цьому тлі особливої актуальності набуває питання цифровізації будівництва та впровадження інформаційних систем управління. Ці інструменти дозволяють не лише автоматизувати рутинні процеси, а й покращити якість прийняття рішень, забезпечити ефективний контроль за

строками, витратами та ресурсами, а також знизити ризики помилок і зловживань [8,10,11].

Мета і методи досліджень. Метою цього дослідження є аналіз складності сучасних будівельних проєктів, виявлення основних організаційних проблем та розробка математичного інструментарію для оптимізації організаційних процесів у будівництві з використанням інформаційних систем.

Результати та їх обґрунтування. Проблема, з якою стикається будівельна галузь, полягає в нестабільній політико-економічній ситуації в країні, що впливає на динаміку зростання вартості будівельно-монтажних робіт, ускладнює будівельні проєкти та створює необхідність контролю за термінами їх реалізації.

Це вимагає оптимального розподілу матеріально-трудових ресурсів у межах організації будівельного виробництва. Відсутність належного підходу до оптимізації ускладнює аналіз системи організаційних процесів. Потреба в локальній стійкості та організаційних змінах вимагає розробки ефективного інструментарію алгоритмічно-критеріального моделювання параметричної оптимізації організаційних процесів у будівництві.

Сформульовано задачу оптимізації, яка визначає основні критерії для вдосконалення організаційних процесів будівельного виробництва в межах обраної стратегії. Це забезпечує ефективне управління всіма ресурсами, а також точний розрахунок термінів будівництва та введення об'єктів в експлуатацію. Оптимізація організаційних процесів враховує стохастичні фактори, що, за допомогою математичних методів, підвищує стійкість системи та сприяє досягненню цілей оптимізації.

Розрахунок вартості забезпечення об'єкту трудовитрат, та загальна вартість проєкту взагалі:

$$C_i = r \sum (x_r \cdot C_r + \max(0, x_r - L_r) \cdot d_{1r} + \max(0, L_r - x_r) \cdot d_{2r} + \max(0, h_i - h_r) \cdot d_{tr}) + (H_i \cdot S)$$

Опис змінних:

- x_r — обсяг ресурсу, необхідного для роботи
- C_r — вартість одиниці ресурсу
- L_r — обсяг ресурсу на складі
- $d_{\{1r\}}$ — штраф за дефіцит ресурсу
- $d_{\{2r\}}$ — штраф за надлишок ресурсу
- h_i — дата початку роботи
- h_r — дата надходження ресурсу
- $d_{\{tr\}}$ — штраф за затримку надходження ресурсу
- H_i — кількість годин роботи

- S — ставка за годину

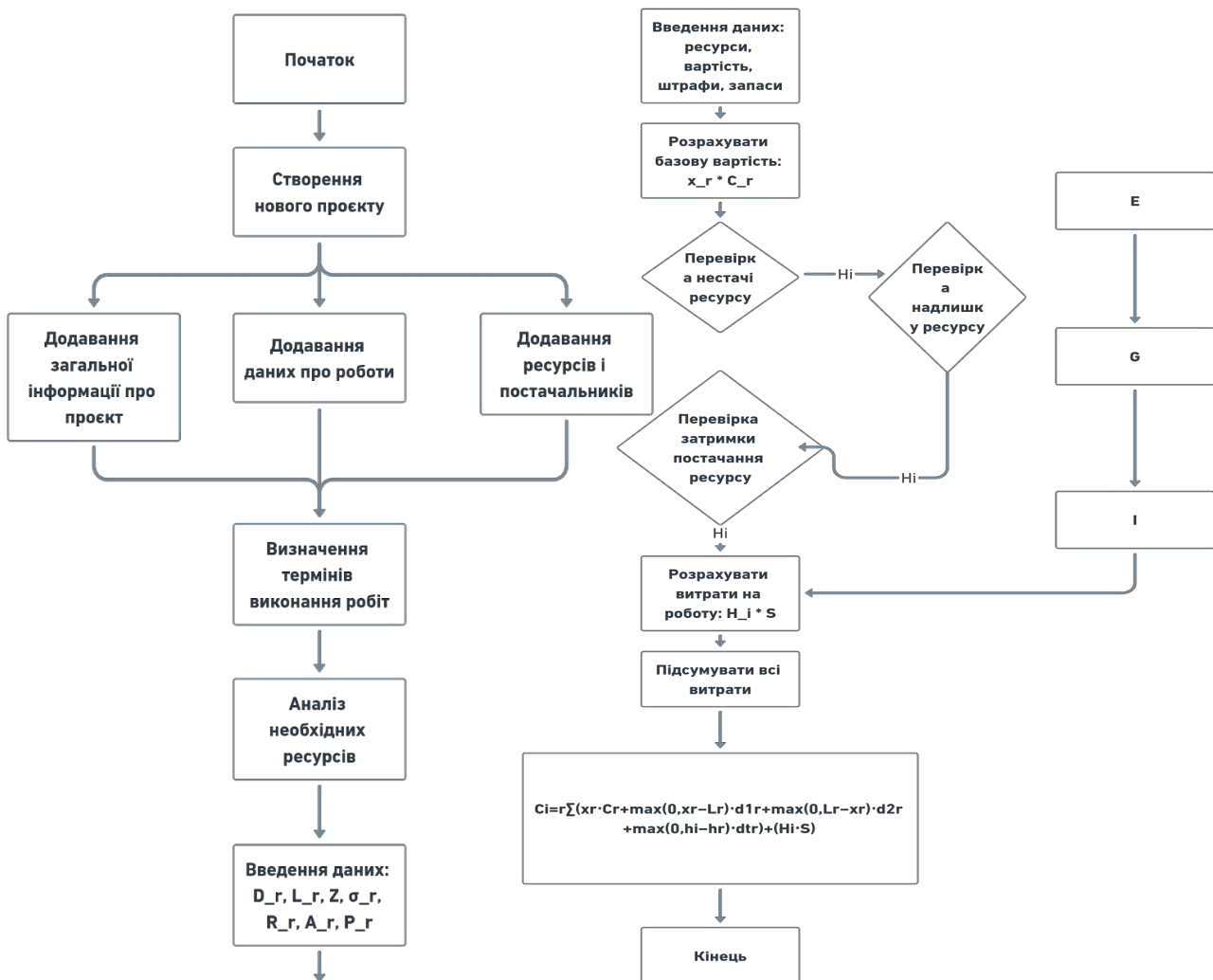


Рис. 1. Конструювання математичного інструментарію алгоритмічно-критеріального моделювання параметричної оптимізації організаційних процесів у будівництві

Дослідження зосереджене на розробці та формалізації цифрової платформи для алгоритмічно-критеріального моделювання параметричної оптимізації організаційних процесів у будівництві. Запропонований підхід спрямований на систематизацію та вдосконалення механізмів координації міжгалузевої взаємодії, що сприяє ефективному використанню матеріально-технічної бази вітчизняного ринку.

Висновки та рекомендації подальшого дослідження. Обґрунтування теоретико-методологічної та аналітичної бази оптимізації організаційних процесів у будівельному виробництві дозволяє сформулювати стратегію підвищення його ефективності. Дослідження підтвердило, що модернізація управлінських механізмів, впровадження інноваційних підходів до планування та інтеграція цифрових технологій сприяють зниженню операційних витрат, підвищенню якості будівельних робіт і скороченню термінів реалізації

проектів. Запропонована концепція оптимізації ґрунтується на комплексному підході до управління будівельними процесами, враховуючи економічні, технологічні та організаційні аспекти. Використання аналітичних платформ і прогнозних моделей дозволяє зменшити ризики, підвищити точність планування та сприяти ефективному розподілу ресурсів. Отже, запропонований підхід до оптимізації організаційних процесів формує основу для ефективного використання ресурсів, покращення взаємодії між учасниками будівельного процесу, відповідно вимогам сучасного ринку.

Література:

1. Бондар О.А., Поколенко В.О., Пилипчук О.Д., Халілов А. Аналітичний базис діяльності підрядного підприємства в сучасному цифровому середовищі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. Вип. 47, т. 1. 2021. С. 87–95. DOI:10.32347/2707-501x.2021.47(1).87-95
2. ДБН А.3.1-5-2016 Організація будівельного виробництва [Чинний від 1.01.2016]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 49 с.
3. Ковальчук В.І. Інформаційні технології в управлінні будівельними проектами: навч. посіб. Київ: КНУБА, 2021. 212 с.
4. Терещенко Г.І., Марченко Т.Ю. Використання ВІМ-технологій у сучасному будівництві. *Будівельне виробництво*. 2020. №1. С. 34–40.
5. Іванова І.В. ERP-системи як інструмент управління ресурсами у будівельних підприємствах. *Економіка і управління підприємством*. 2019. №3(67). С. 85–91.
6. Паламарчук М.О. Оптимізація логістичних процесів у будівництві за допомогою цифрових платформ. *Вісник КНУБА*. 2022. №17. С. 102–108.
7. Ушацький С.А., Шейко Ю.П., Тригер Г.М. та ін.. Організація будівництва / за ред. С.А. Ушацького. Київ: Кондор, 2007. 521 с
8. Whyte, J., Lindkvist, C. Managing change in construction projects through digital tools: The role of building information modeling (BIM). *Construction Management and Economics*. 2020. Vol. 38(6). P. 541–556.
9. Arutiunian I., Radkevic A., Kuznetsov V., Kovalenk M., Skrzyniarz M. Setting Dynamic Problem of Logistic Support of Building Objects by Material Resources Taking into Account Random Factors Affecting Transportation Timing. *Transport Means 2021.Proceedings of 25th International Scientific Conference*. 2021. № 111. P. 1080-1084. URL: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-Means-2021-Part-III.pdf>
10. Azhar, S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in*

Engineering. 2011. Vol. 11(3). P. 241–252.

11. Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2018. 688 p.

12. Логістика в будівництві: сучасні виклики і цифрові рішення / За ред. С.М. Блінова. Харків: ХНУБА, 2021. 147 с.

Yuriy Bylov,
Zaporizhzhya National University

MATHEMATICAL TOOLS FOR OPTIMIZATION OF ORGANIZATIONAL PROCESSES IN CONSTRUCTION

The article discusses methods of mathematical optimization of organizational processes in construction, taking into account modern information technologies. In particular, the application of mathematical models to improve the efficiency of management decisions, reduce risks and increase the accuracy of forecasts related to resource provision, planning the timing of work and coordination of the activities of participants in construction projects is analyzed. The purpose of this study is to analyze the complexity of modern construction projects, identify the main organizational problems and develop mathematical tools for optimizing organizational processes in construction using information systems. Special attention is paid to the implementation of information systems as functionality of mathematical tools that integrate data on all stages of construction. This allows you to optimize interaction between project participants, ensuring accurate accounting of resources, control over deadlines, and cost reduction. It has been determined that the mathematical tools of algorithmic-criterion modeling of parametric optimization of organizational processes in construction are an effective solution for complex balancing of all types of resources, calculation of construction terms, reduction of production cost, and estimated cost of the object as a whole, in combination with information technologies, allows to reduce the impact of stochastic factors, increasing the stability of construction processes. Thanks to such technologies, it is possible not only to carry out planning and monitoring in real time, but also to make more informed decisions at all stages of the project. The article also covers the design of mathematical tools and information systems in the conditions of modern construction, which allows you to achieve greater efficiency, economic benefits and high quality of work.

Keywords: organization of construction processes; digitalization; mathematical tools; optimization.

REFERENCES

1. Bondar O.A., Pokolenko V.O., Pylypchuk O.D., Khalilov A. Analitичnyi bazys diialnosti pidriadnoho pidprijemstva v suchasnomu tsyfrovomu seredovyschi. Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn. Vyp. 47, t. 1. 2021. S. 87–95. DOI:10.32347/2707-501x.2021.47(1).87-95. {in Ukrainian}
2. DBN A.3.1-5-2016 Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva [Chynnyi vid 1.01.2016]. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy, 2016. 49 s. {in Ukrainian}
3. Kovalchuk V.I. Informatsiini tekhnolohii v upravlinni budivelnymy proiektamy: navch. posib. Kyiv: KNUBA, 2021. 212 s. {in Ukrainian}
4. Tereshchenko H.I., Marchenko T.Iu. Vykorystannia BIM-tekhnolohii u suchasnomu budivnytstvi. Budivelne vyrobnytstvo. 2020. №1. S. 34–40. {in Ukrainian}
5. Ivanova I.V. ERP-systemy yak instrument upravlinnia resursamy u budivelnykh pidprijemstvakh. Ekonomika i upravlinnia pidprijemstvom. 2019. №3(67). S. 85–91. {in Ukrainian}
6. Palamarchuk M.O. Optyimizatsiia lohistychnykh protsesiv u budivnytstvi za dopomohoiu tsyfrovyykh platform. Visnyk KNUBA. 2022. №17. S. 102–108. {in Ukrainian}
7. Ushatskyi S.A., Sheiko Yu.P., Tryher H.M. ta in.. Orhanizatsiia budivnytstva / za red. S.A. Ushatskoho. Kyiv: Kondor, 2007. 521 s. {in Ukrainian}
8. Whyte, J., Lindkvist, C. Managing change in construction projects through digital tools: The role of building information modeling (BIM). *Construction Management and Economics*. 2020. Vol. 38(6). P. 541–556. {in English}
9. Arutiunian I., Radkevic A., Kuznetsov V., Kovalenk M., Skrzyniarz M. Setting Dynamic Problem of Logistic Support of Building Objects by Material Resources Taking into Account Random Factors Affecting Transportation Timing. *Transport Means 2021.Proceedings of 25th International Scientific Conference*. 2021. № 111. P. 1080-1084. URL: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-Means-2021-Part-III.pdf>. {in English}
10. Azhar, S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*. 2011. Vol. 11(3). P. 241–252. {in English}
11. Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., Teicholz, P. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 3rd ed. Hoboken: Wiley, 2018. 688 p. {in English}
12. Lohistyka v budivnytstvi: suchasni vyklyky i tsyfrovi rishennia / Za red. S.M. Blinova. Kharkiv: KhNUBA, 2021. 147 s. {in Ukrainian}