

DOI: 10.32347/2786-7269.2025.14.308-318

УДК: 69:330.341.1:658

Біденко Д.В.,
Clarison@ukr.net, ORCID: 0009-0000-0226-7102,
д.е.н., професор **Предун К.М.**,
31172@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2634-9310,
Кирпач В.І.,
kyrpach_vi-2024@knuba.edu.ua, ORCID: 0009-0008-5341-6866,
Дубенський О.М.,
alexandr.dubensky@gmail.com, ORCID: 0009-0005-5759-7789,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ІНФРАСТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДТРИМКИ ІННОВАЦІЙ НА БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

У сучасних умовах будівельна галузь стикається з потребою системного впровадження інновацій, які визначають конкурентоспроможність підприємств на ринку. Проте ефективність інноваційної діяльності залежить не лише від окремих рішень чи технологій, а й від здатності підприємства формувати цілісну інфраструктуру підтримки інновацій. Її елементи виконують ключові функції – від забезпечення ресурсами та фінансами до організації знанневих потоків і цифрових комунікацій.

Функціонально-структурний підхід ґрунтується на інтеграції двох аспектів: функціонального, що відображає цілі, завдання та дії окремих елементів, і структурного, який показує їх організаційне розташування, взаємодію та рівень інтеграції в систему управління підприємством. Застосування цього підходу у сфері будівництва дозволяє виявити сильні та слабкі сторони інноваційної інфраструктури, визначити критичні точки для вдосконалення та розробити ефективні моделі її розвитку.

Ключові слова: інновації інфраструктура; будівельні підприємства; функціонально-структурний аналіз; організаційні елементи; цифрова економіка; розвиток; конкурентоспроможність.

Постановка проблеми: Розвиток інновацій у будівельній сфері відбувається у складних умовах, коли поєднуються високий рівень конкуренції, динамічність ринкового середовища та обмеженість ресурсів. У таких умовах ефективність діяльності підприємств визначається не лише наявністю окремих технологічних рішень, а й створенням комплексної системи інфраструктурної підтримки інновацій. Проте на практиці така система часто є фрагментарною:

окремі її елементи функціонують автономно, що знижує загальну результативність і ускладнює управління інноваційними процесами.

Метою статті є обґрунтування теоретичних основ функціонально-структурного аналізу інфраструктурних елементів підтримки інновацій у будівельних підприємствах. Завданням є визначення ключових функцій та взаємозв'язків між складовими інноваційної інфраструктури, оцінка їхнього впливу на інноваційну спроможність компанії та розробка підходів до оптимізації організаційної структури. Автори прагнуть показати, що системний аналіз дозволяє сформулювати стратегії розвитку, орієнтовані на ефективну інтеграцію кадрових, технологічних та інформаційних ресурсів у єдину інноваційну екосистему підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові дослідження у сфері управління інноваціями та інфраструктурою підприємств охоплюють широкий спектр питань – від аналізу окремих технологічних рішень до вивчення організаційних моделей підтримки інновацій. Значна увага приділяється інфраструктурним складовим, які забезпечують інтеграцію ресурсів і координацію процесів, адже саме вони визначають здатність підприємства до впровадження нововведень. У працях сучасних дослідників підкреслюється, що ефективна інноваційна інфраструктура має включати не лише фінансові та технічні ресурси, а й кадрові та інформаційні системи, здатні забезпечити обмін знаннями й формування інноваційної культури. Використання цифрових платформ, кластерних моделей і партнерських екосистем визначається як ключовий інструмент зміцнення інноваційної спроможності підприємств.

Виклад основного матеріалу: У сучасному будівельному середовищі питання інфраструктурного забезпечення інновацій на підприємствах виходить за межі класичного трактування матеріально-технічної бази. Інфраструктура сьогодні — це не лише фізичне середовище (виробничі потужності, логістичні центри, інженерні мережі), але й функціональні платформи, які сприяють генерації, адаптації, впровадженню та масштабуванню інновацій. Функціонально-структурний аналіз таких елементів дає змогу системно дослідити, які з них є найбільш критичними для інноваційного розвитку і як їхня взаємодія формує комплексну підтримку інноваційного середовища в будівельному бізнесі.

Структурно інфраструктура інноваційної підтримки поділяється на внутрішні та зовнішні елементи. Внутрішні — це ті, що належать підприємству (лабораторії, локальні цифрові платформи, виробничі лінії, інжиніринг-центри), а зовнішні — це партнерські й інституційні інструменти (доступ до хмарних технологій, R&D-кластери, державні програми інноваційного сприяння, консалтингові компанії) [1].

Значущим є також розмежування інфраструктурної підтримки за ступенем її впливу на різні етапи інноваційного процесу: від генерування ідей до комерціалізації рішень. Деякі елементи орієнтовані на ранні фази, інші — на впровадження, треті — на масштабування [2].

Для кожної функціональної зони характерні свої специфічні інструменти підтримки інновацій, що мають як фізичне, так і цифрове втілення. Наприклад, впровадження ERP-системи в управлінську зону забезпечує автоматизацію процесів закупівель, управління персоналом і контролю витрат, водночас створюючи основу для інноваційного планування. У технічній зоні 3D-друк дозволяє скоротити витрати часу та матеріалів, а в аналітичній – використання IoT-модулів забезпечує онлайн-моніторинг стану конструкцій у режимі реального часу.

Поняття «функціонально-структурний аналіз інфраструктурних елементів» будівельного підприємства передбачає вивчення функцій, які виконують окремі інфраструктурні компоненти (виробничі потужності, логістичні об'єкти, інформаційно-аналітичні системи), у взаємозв'язку з їх місцем у загальній структурі підприємства. [3].

На ранніх етапах становлення інфраструктурної аналітики в будівництві, зокрема в роботах українського науковця Андрія Іщенка [4], інфраструктура розглядалася переважно з позиції технічної забезпеченості, з акцентом на техніко-економічну класифікацію об'єктів підтримки.

У 2010-х роках концепція зазнала розвитку завдяки роботам Марії Мних та її співавторів, які вивчали інноваційний розвиток будівельних підприємств через призму інфраструктурних моделей підтримки [5].

З європейських авторів значну роль відіграли праці Christoph Müller із Технічного університету Мюнхена, який у дослідженні “Infrastructure for innovation in construction firms: Structural and operational perspectives” (Journal of Construction Innovation, 2016) пропонував модель поділу інфраструктурних ресурсів на «core infrastructure» та «enabling infrastructure» [6].

У сучасних підходах акцент зміщено на взаємодію функцій інфраструктурних елементів з інноваційними цілями підприємства. Наприклад, Олександр Яцишин у монографії «Системний аналіз інфраструктури будівельних підприємств» (ІТУ, 2020) розглядає багаторівневу модель інфраструктури, що включає організаційні, інформаційні, виробничі та партнерські підсистеми [7]. Для кращого розуміння сучасної інтерпретації функціонально-структурного аналізу інфраструктури будівельного підприємства, нижче представлено рисунок 1.

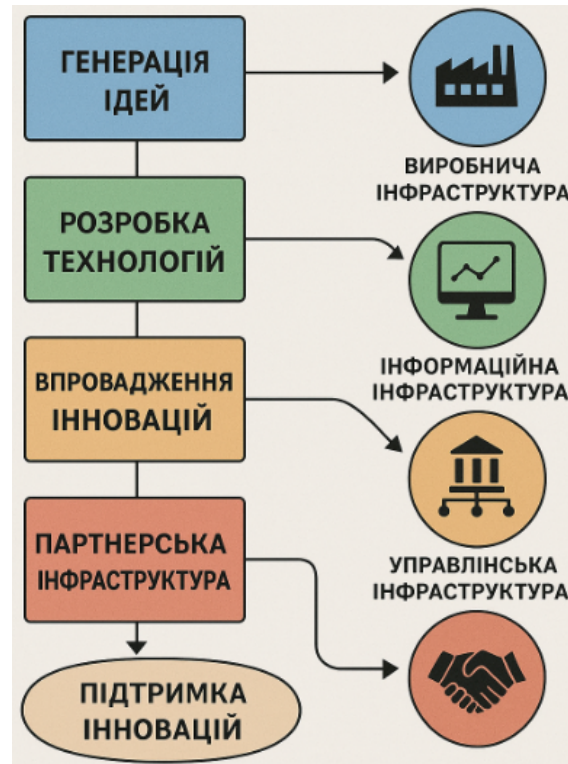


Рис. 1. Функціонально-структурний аналіз інфраструктурних елементів
(розроблено авторами на основі [7])

Формування інноваційного потенціалу будівельного підприємства неможливе без належного функціонального розподілу й координації інфраструктурних елементів. Під функціональними зонами в інфраструктурному контексті розуміють сукупності взаємопов'язаних ресурсів, платформ, систем та процесів, які забезпечують виконання ключових завдань підприємства в логіці підтримки інновацій: від ідеації до реалізації нових технологій на практиці. Ці зони не лише забезпечують матеріально-технічну базу, але й формують організаційне середовище для трансформаційних змін.

Основна складність полягає у тому, що кожна зона не функціонує автономно. Їхня результативність залежить від ступеня взаємодії, спільного доступу до даних, координації процесів, та інтеграції в загальну організаційно-технологічну архітектуру [8].

Найбільш ефективною вважається модель, в якій функціональні зони поєднані у фреймворк єдиного інформаційного та технологічного середовища. Тут взаємозв'язки не є лінійними — вони багатовекторні, гнучкі та адаптивні до змін ринку або технологічного ландшафту. Такі підприємства можуть масштабувати інновації без втрат координації чи ресурсної неузгодженості. Для демонстрації функціональних зон інфраструктури та характеру їхньої взаємодії представлено рисунок 2, яка візуалізує як прямі потоки (логістичні, дані, технології), так і зворотні зв'язки між елементами [9].

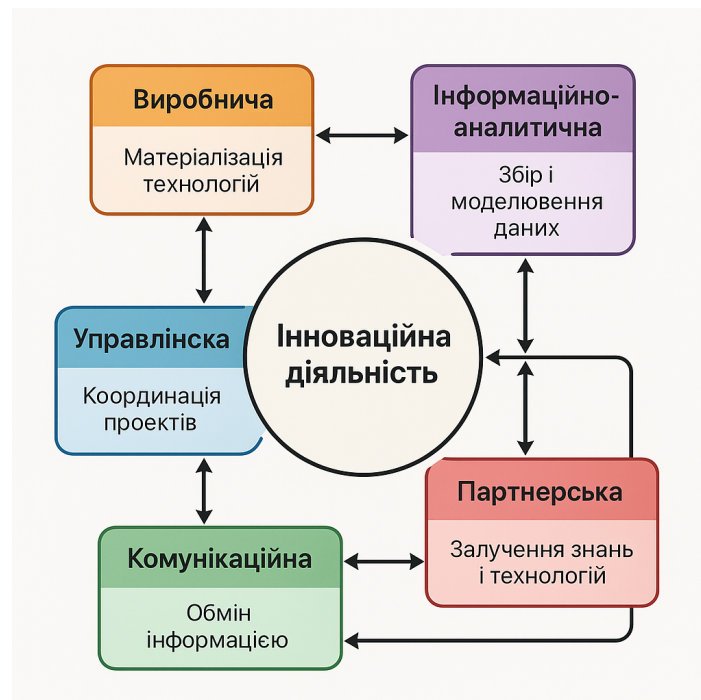


Рис. 2. Взаємозв'язок функціональних зон інфраструктури будівельного підприємства в контексті підтримки інноваційної діяльності
(розроблено авторами на основі [9])

Продовжуючи розгляд теми після наведеної інфографіки, слід акцентувати увагу на практичній значущості узгодженої роботи функціональних зон інфраструктури для забезпечення безперервного інноваційного циклу. Як видно зі схеми, кожна зона не лише виконує свою окрему роль, але й перебуває у динамічній взаємодії з іншими — що особливо важливо в умовах проектної діяльності будівельних підприємств, де ключовими є терміни, точність та адаптивність [10].

Цілісне бачення функціонально-структурної організації інфраструктури дозволяє не лише забезпечити інноваційність у вузькому технологічному сенсі, але й створити ефективну модель операційної та стратегічної взаємодії [11]. Реалізація інноваційних трансформацій на будівельному підприємстві — це складний процес, що вимагає не лише наявності нових технологій, а й ефективної інфраструктурної підтримки [12].

Щоб глибше зрозуміти особливості взаємодії між внутрішніми та зовнішніми інфраструктурними елементами, доцільно класифікувати їх за функціональним навантаженням, типом прикладного застосування та впливом на етапи інноваційної трансформації. У таблиці 1, яка знаходиться нижче, представлено ключові характеристики цих двох типів інфраструктури, що дозволяє виявити їхні сильні сторони, обмеження та потенціал для синергії в межах будівельного підприємства.

Таблиця 1.

Порівняння впливу внутрішніх і зовнішніх інфраструктурних елементів на інноваційні трансформації (розроблено авторами на основі [12])

Тип інфраструктури	Основні функції	Приклади елементів	Вплив на трансформацію
Внутрішня	Генерація, адаптація, операціоналізація	ВІМ-системи, внутрішній R&D, ERP, навчальні центри	Гнучкість, адаптивність, контроль над процесами
Зовнішня	Розширення можливостей, доступ до ресурсів	Платформи технологічного трансферу, кластери, фінансування	Швидкість масштабування, зниження бар'єрів входу

Ключем до ефективної інноваційної трансформації є інтеграція внутрішніх і зовнішніх елементів в єдину систему. Наприклад, внутрішні аналітичні системи можуть бути пов'язані API з зовнішніми нормативними базами або регуляторними інструментами, що забезпечує актуалізацію даних у режимі реального часу [13]. Щоб відобразити взаємозв'язок внутрішніх і зовнішніх інфраструктурних елементів та їхній комбінований вплив на інноваційні трансформації, нижче представлений рисунок 3.

Інноваційна трансформація будівельного підприємства є багаторівневим процесом, який не може ефективно реалізовуватись ізольовано. Синергія зовнішніх джерел підтримки (кластерів, центрів трансферу технологій, фінансових інструментів) з внутрішніми цифровими та управлінськими системами дозволяє прискорити адаптацію інновацій, знизити витрати на розробку і протестувати нові рішення в безпечному середовищі [13].

У практиці будівельної галузі спостерігається типовий сценарій: технологія є, але інфраструктура до неї — ні. Наприклад, компанія закуповує систему лазерного сканування для об'єктів, але не має технічного персоналу для її обслуговування, налаштування внутрішніх серверів або аналітичної платформи для обробки даних. Ще одним критичним викликом є несумісність зовнішніх інфраструктурних рішень із внутрішньою архітектурою підприємства [14].

Для подолання таких бар'єрів необхідне впровадження адаптивних стратегій нейтралізації, орієнтованих на гнучке управління ризиками. Серед них: розгортання мікросервісної архітектури для ІТ, використання мультифункціональних цифрових платформ, делегування повноважень на рівень проєктних команд, створення «внутрішніх інноваційних агентств» на підприємствах. Рисунок 4 демонструє типову архітектуру ризиків і бар'єрів, які виникають при невідповідності інфраструктури інноваційним цілям.



Рис. 3. Взаємодія внутрішніх і зовнішніх інфраструктурних елементів у процесі інноваційної трансформації будівельного підприємства (розроблено авторами на основі [12])



Рис. 4. Типи проблем невідповідності інфраструктури інноваційним цілям та стратегії їх нейтралізації у будівельній сфері (розроблено авторами на основі [14])

Література

1. Іщенко А.М. «Технологічна інфраструктура у промисловому будівництві». – Київ: Ліра-К, 2002
2. Мних М.М. «Організаційна інфраструктура інноваційного розвитку підприємств: теорія та методологія». – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2015
3. Ватченко О.Б., Ватченко Б.С., Черевко О.Л. Інноваційний розвиток підприємства : навч. посібник. – Дніпро : Акцент ПП, 2017. – 404 с. ISBN 978-966-921-108-8
4. Іщенко, А. "Інфраструктурна аналітика в будівництві: методологія та техніко-економічні аспекти". – Київ: Видавництво "Будівельний світ", 2009. – 320 с. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.building-world.com>
5. Мних, М., Іванов, С. "Інноваційний розвиток будівельних підприємств через призму інфраструктурних моделей підтримки". – Журнал "Будівельний менеджмент", 2015. – № 3. – С. 112–126. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.building-management.com>
6. Müller, C. "Infrastructure for Innovation in Construction Firms: Structural and Operational Perspectives". – Journal of Construction Innovation, 2016. – Vol. 16(2). – P. 234–250. – [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.cejournal.com/infrastructure-for-innovation>
7. Porter, M.E., & Heppelmann, J. E. "How Smart, Connected Products Are Transforming Competition". – Harvard Business Review, 2014. – Vol. 92(11). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>.
8. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. "BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers". – Book. – Hoboken: Wiley, 2018. – 704 p. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.wiley.com/en-us/BIM+Handbook-p-9781119287568​;:contentReference\[oaicite:3\]{index=3}](https://www.wiley.com/en-us/BIM+Handbook-p-9781119287568​;:contentReference[oaicite:3]{index=3}).
9. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. "The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies". – Book. – New York: W.W. Norton & Company, 2014. – 320 p. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://wwnorton.com/books/9780393239355​;:contentReference\[oaicite:4\]{index=4}](https://wwnorton.com/books/9780393239355​;:contentReference[oaicite:4]{index=4}).
10. Чуприна Ю.А. Аналіз систем прийняття економіко–управлінських рішень бізнес–портфеля підприємства / Ю.А. Чуприна, О.С. Болебрух, А.Є. Ровенський, А.Є. Деркач, Д.А. Гуляєв // Формування ринкових відносин в

Україні. - 2021. - № 1. - С. 64-72. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu_2021_1_10.

11. Rahman, H., & Rahman, A. "Building a Sustainable Information Infrastructure for Construction: A Process-Oriented Perspective". – International Journal of Project Management, 2016. – Vol. 34(7). – P. 1393–1405. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.04.001>;:contentReference[oaicite:1]{index=1}.

12. Coase, R.H. "The Nature of the Firm". – *Economica*, 1937. – Vol. 4(16). – P. 386–405. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.jstor.org/stable/2626876>;:contentReference[oaicite:2]{index=2}.

13. Бізнес, інновації і підприємництво: відповідь на "економічні шоки" та глобальні виклики: зб. матеріалів I Всеукр. студентської наук.-практ. конф. 11 березня 2020 р. – К., 2020. – 456 с.

14. Хоменко, О., Петренко, Г., Рижаківа, Г., Петруха, Н., Чуприна, Ю., Малихіна, О., & Кушнір, О. (2022). Сучасні інструменти та програмні продукти адміністрування будівельними організаціями в умовах трансформації операційних систем менеджменту. *Управління розвитком складних систем*, (52), 113–125

**Bidenko Dmytro,
Predun Kostyantyn,
Kyrpach Vyacheslav,
Dubenskyi Oleksandr,**

Kyiv National University of Construction and Architecture

FUNCTIONAL-STRUCTURAL ANALYSIS OF INFRASTRUCTURAL ELEMENTS FOR SUPPORTING INNOVATION IN CONSTRUCTION ENTERPRISES

In the modern context, the construction industry faces the urgent need for the systematic implementation of innovations that determine the competitiveness of enterprises in the market. However, the effectiveness of innovative activity depends not only on individual solutions or technologies but also on the enterprise's ability to establish a comprehensive infrastructure for supporting innovation. Its elements perform key functions – from providing resources and financing to organizing knowledge flows and digital communications.

The functional-structural approach is based on the integration of two aspects: the functional, which reflects the goals, tasks, and activities of individual elements;

and the structural, which shows their organizational arrangement, interactions, and level of integration within the enterprise's management system. The application of this approach in the construction sector allows for the identification of strengths and weaknesses of the innovation infrastructure, the determination of critical points for improvement, and the development of effective models for its advancement.

Keywords: innovation; infrastructure; construction enterprises; functional-structural analysis; organizational elements; digital economy; development; competitiveness.

REFERENCES

1. Ishchenko, A.M. Technological Infrastructure in Industrial Construction. Kyiv: Lira-K, 2002. {in Ukrainian}
2. Mnykh, M.M. Organizational Infrastructure of Innovative Development of Enterprises: Theory and Practice. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv, 2015. {in Ukrainian}
3. Vatchenko, O.B., Vatchenko, B.S., & Cherevko, O.L. Innovative Development of the Enterprise: Textbook. Dnipro: Aktsent PP, 2017. 404 p. ISBN 978-966-921-108-8. {in Ukrainian}
4. Ishchenko, A. Infrastructure Analytics in Construction: Methodology and Technical-Economic Aspects. Kyiv: Building World Publishing, 2009. 320 p. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.building-world.com>. {in Ukrainian}
5. Mnykh, M., & Ivanov, S. Innovative Development of Construction Enterprises through the Lens of Infrastructural Support Models. Building Management Journal, 2015, 3, 112–126. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.building-management.com>. {in Ukrainian}
6. Müller, C. Infrastructure for Innovation in Construction Firms: Structural and Operational Perspectives. Journal of Construction Innovation, 2016, 16(2), 234–250. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.cejournal.com/infrastructure-for-innovation>. {in English}
7. Porter, M.E., & Heppelmann, J.E. How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. Harvard Business Review, 2014, 92(11). [Electronic resource]. Access mode: <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>. {in English}
8. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. Hoboken: Wiley, 2018. 704 p. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.wiley.com/en-us/BIM+Handbook-p-9781119287568>. {in English}

9. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York: W.W. Norton & Company, 2014. - 320 p. [Electronic resource]. Access mode: <https://wwnorton.com/books/9780393239355>. {in English}
10. Chupryna, Yu.A., Bolebrukh, O.S., Rovenskyi, A.Ye., Derkach, A.Ye., & Huliaiev, D.A. Analysis of Systems for Making Economic and Managerial Decisions of an Enterprise's Business Portfolio. Formation of Market Relations in Ukraine, 2021, 1, 64–72. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu_2021_1_10. {in Ukrainian}
11. Rahman, H., & Rahman, A. Building a Sustainable Information Infrastructure for Construction: A Process-Oriented Perspective. *International Journal of Project Management*, 2016, 34(7), 1393–1405. [Electronic resource]. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.04.001>. {in Ukrainian}
12. Coase, R.H. The Nature of the Firm. *Economica*, 1937, 4(16), 386–405. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.jstor.org/stable/2626876>. {in English}
13. Business, Innovation and Entrepreneurship: Response to “Economic Shocks” and Global Challenges. Proceedings of the First All-Ukrainian Student Scientific-Practical Conference, March 11, 2020. Kyiv, 2020. 456 p. {in Ukrainian}
14. Khomenko, O., Petrenko, H., Ryzhakova, H., Petruha, N., Chupryna, Yu., Malykhina, O., & Kushnir, O. (2022). Modern Tools and Software Products for Managing Construction Organizations in the Context of Management Systems Transformation. *Management of Complex Systems Development*, 52, 113–125. {in English}