

Дмитро ГАЛУШКО,

аспірант

ORCID: 0009-0008-9451-9343

Запорізький національний університет, м. Запоріжжя

КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ФОРМУВАННЯ СИСТЕМНО-ІНТЕГРОВАНОЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БУДІВНИЦТВА

У статті розглянуто концептуальні основи формування системно-інтегрованої організаційно-технологічної моделі енергоефективного будівництва з урахуванням енергоощадних технологічних рішень. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності використання енергоресурсів у будівельній галузі, яка є одним із найбільших споживачів енергії. В умовах зростання вартості енергоресурсів, посилення екологічних вимог та переходу до сталого розвитку особливо важливим стає формування науково обґрунтованих моделей, що забезпечують комплексне управління енерговитратами на всіх етапах будівництва. У ході аналізу досліджень і публікацій встановлено, що значна кількість наукових робіт, зокрема викладачів Київського національного університету будівництва і архітектури, присвячена окремим аспектам енергоефективності – технологічним, матеріальним чи організаційним. Однак недостатньо опрацьованим залишається питання системної інтеграції цих аспектів у єдину керовану модель. Вітчизняні й зарубіжні автори підкреслюють потребу у створенні багаторівневих систем управління, здатних забезпечити оптимізацію процесів на основі енергоощадних технологій. Наукове значення роботи полягає у розробленні концептуальної схеми системно-інтегрованої організаційно-технологічної моделі, що поєднує принципи енергоефективності, технологічної керованості та раціонального ресурсного забезпечення. Такий підхід сприяє удосконаленню теоретичних основ організації будівництва, розширює уявлення про міжсистемні взаємозв'язки між технологічними і організаційними компонентами, формує передумови для створення комплексних моделей управління будівельними процесами. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування розроблених концептуальних положень під час планування, організації та контролю виконання будівельно-монтажних робіт. Запропонована модель може бути використана для підвищення енергоефективності будівельних підприємств, оптимізації виробничих ресурсів, зниження енергоспоживання та підвищення економічної ефективності будівельних проектів. Впровадження системно-інтегрованого підходу забезпечує підвищення якості будівництва, скорочення термінів виконання робіт і створення сучасного енергозберігаючого середовища.

Ключові слова: енергоефективне будівництво; енергоощадні технології; організаційно-технологічна модель; системно-інтегрований підхід; управління будівельним виробництвом; ресурсна оптимізація; технологічна ефективність; енергозбереження; будівельні процеси.

Вступ. Сучасний стан будівельної галузі характеризується зростаючою потребою у впровадженні енергоефективних технологій, що зумовлено глобальними екологічними проблемами, підвищенням вартості енергетичних ресурсів та необхідністю забезпечення сталого розвитку інфраструктури. Енергоефективність будівельних об'єктів є ключовим фактором економічної та екологічної безпеки, що безпосередньо впливає на витрати енергетичних ресурсів, тривалість експлуатаційного циклу об'єкта та рівень комфорту користувачів. У цьому контексті формування концептуальної бази для створення системно-інтегрованої організаційно-технологічної моделі енергоефективного будівництва набуває особливого значення, оскільки вона забезпечує комплексну координацію проектних, технологічних та організаційних рішень із врахуванням енергоощадних технологій [2, 3, 5].

Концептуальне формування такої моделі передбачає системний підхід, що базується на інтеграції трьох взаємопов'язаних компонентів: проектного, технологічного та організаційного. Проектний компонент включає вибір конструктивних рішень, будівельних матеріалів та систем, які мають підвищені показники теплоізоляції та мінімальне енергоспоживання. Технологічний компонент зосереджений на впровадженні інноваційних технологій, що забезпечують раціональне використання ресурсів під час будівництва та експлуатації об'єкта. Організаційний компонент забезпечує координацію будівельних процесів, планування ресурсів та управління проектом, що дозволяє мінімізувати енергетичні витрати та підвищити ефективність виконання робіт [1, 8].

В основу концептуальної моделі покладено принцип системної інтеграції, що передбачає взаємодію всіх складових будівельного процесу з урахуванням технічних, економічних та екологічних показників. Впровадження такого підходу дозволяє створити адаптивну модель, здатну коригувати технологічні та організаційні рішення залежно від специфіки об'єкта, кліматичних умов, нормативних вимог та економічної доцільності. Застосування системно-інтегрованого підходу забезпечує комплексне управління енергоспоживанням, що включає прогнозування споживання енергетичних ресурсів, аналіз ризиків та оцінку ефективності впровадження енергоощадних технологій на різних етапах будівництва.

Методологічна основа формування моделі полягає у використанні принципів системного аналізу, теорії оптимізації, моделювання будівельних процесів та інформаційного моделювання. Системний аналіз дозволяє виявити ключові взаємозв'язки між складовими будівельного процесу, оцінити вплив різних факторів на енергоспоживання та визначити критичні точки, де можлива оптимізація ресурсів. Теорія оптимізації забезпечує формалізацію процесу вибору найефективніших технологічних рішень з урахуванням енергозбереження, економічної доцільності та якості конструкцій. Математичне моделювання дозволяє створювати цифрові прототипи об'єктів, що дає змогу прогнозувати енергоспоживання, оцінювати вплив різних рішень та здійснювати комплексну оптимізацію [1, 10].

Аналіз досліджень і публікацій

Проблематика енергоефективного будівництва активно розглядається у працях вітчизняних та зарубіжних науковців, які акцентують увагу на підвищенні ефективності використання енергоресурсів у процесі зведення та експлуатації будівель. Зокрема, у наукових роботах В. Аніна, І. Арутюнян, О. Бондаренка, І. Білика, І. Гната, В. Міщенко, Ю. Писаренка, В. Поколенко, О. Приходько, О. Тугая та інших досліджується питання раціональної організації будівельного виробництва

на основі впровадження енергозберігаючих технологій і сучасних матеріалів. Іноземні дослідники, такі як М. Kylii, Р. Fokaides, S. Attia, розглядають проблеми системної інтеграції технологічних процесів і управління енергоефективністю з позицій сталого розвитку [1, 2, 8, 9].

Разом з тим, більшість праць зосереджена на окремих аспектах – проектуванні, матеріалознавстві – без належної уваги до формування цілісної організаційно-технологічної моделі. Недостатньо вивченими залишаються питання системного поєднання організаційних структур, технологічних процесів та енергоощадних рішень у єдину керовану систему. Отже, актуальним є подальший розвиток теоретичних і методологічних основ побудови системно-інтегрованої моделі енергоефективного будівництва, яка б забезпечувала оптимізацію ресурсів і підвищення технологічної ефективності.

Постановка завдання

Метою дослідження є розроблення концептуальних засад формування системно-інтегрованої організаційно-технологічної моделі енергоефективного будівництва з урахуванням енергоощадних технологічних рішень. Для досягнення поставленої мети необхідно: проаналізувати існуючі підходи до організації будівельного виробництва; визначити чинники, що впливають на енергоефективність будівельних процесів; обґрунтувати структуру моделі; розробити методику взаємодії організаційних і технологічних підсистем; встановити критерії оцінювання ефективності. Результатом є науково обґрунтована система управління будівництвом, орієнтована на мінімізацію енергоспоживання та підвищення технологічної ефективності.

Основна частина

У сучасних умовах глобальної енергетичної кризи та зростання вимог до екологічної безпеки особливого значення набуває розроблення ефективних організаційно-технологічних моделей енергоефективного будівництва. Формування системно-інтегрованої структури управління процесами зведення будівель передбачає комплексне врахування взаємозв'язків між технологічними, організаційними, ресурсними та енергетичними складовими виробничого циклу. Основою такої моделі є оптимізація використання матеріально-технічних ресурсів, енергоощадних технологічних рішень та раціональна організація будівельного виробництва, спрямована на підвищення ефективності енергоспоживання на всіх етапах життєвого циклу об'єкта [8, 9].

Системно-інтегрований підхід дозволяє розглядати процес будівництва як цілісну динамічну систему, в якій узгоджено функціонують технічні, енергетичні та організаційні підсистеми. Такий підхід забезпечує підвищення рівня технологічної керованості, скорочення втрат енергії та часу, а також підвищення якості кінцевого продукту. Концептуальне формування зазначеної моделі є основою для розробки науково обґрунтованих методів планування, координації та контролю будівельних процесів із урахуванням сучасних енергоощадних технологій.

Особливу увагу приділено критеріям оцінки ефективності енергоощадних технологій, до яких належать: технічна ефективність матеріалів та конструкцій, економічна доцільність впровадження технологій, вплив на експлуатаційні витрати, екологічна безпека та тривалість служби будівельного об'єкта. Комплексна оцінка за цими критеріями дозволяє порівнювати різні технологічні рішення та здійснювати обґрунтований вибір оптимальної комбінації проектних і технологічних рішень.

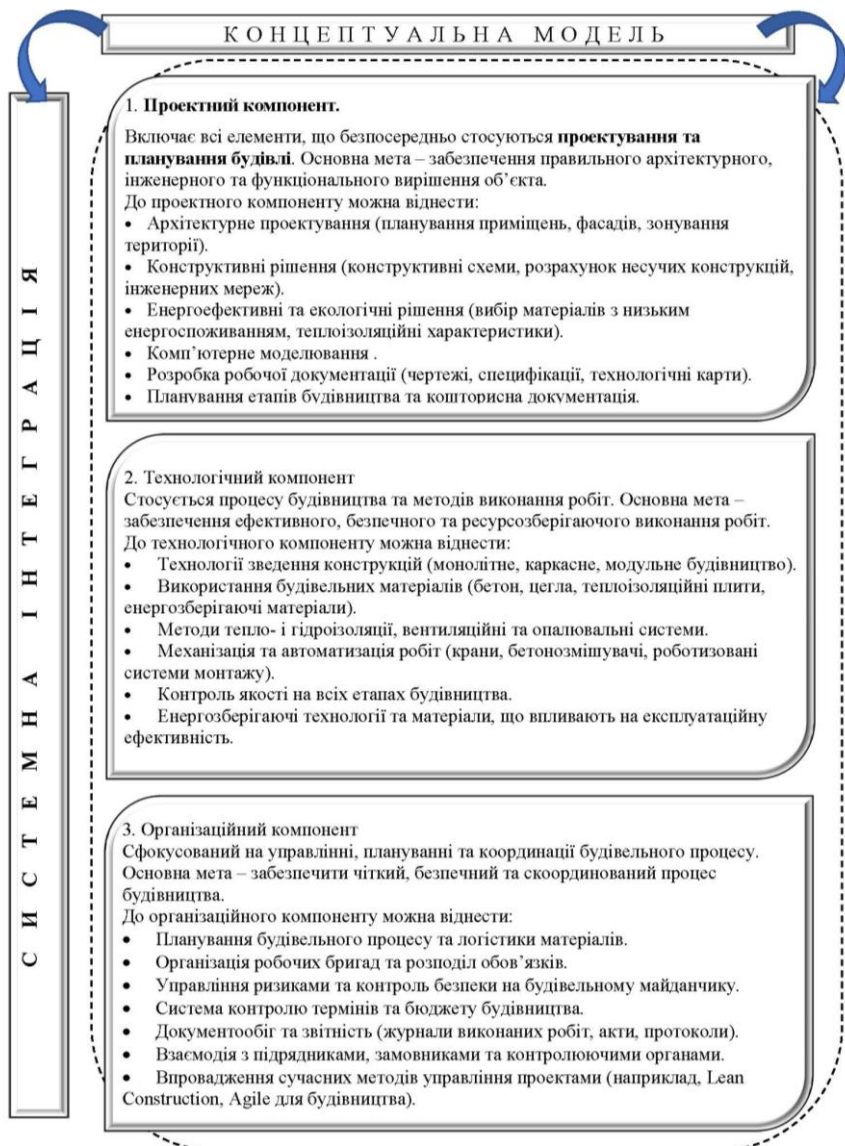


Рис. 1. Концепція формування системно-інтегрованої організаційно-технологічної моделі енергоефективного будівництва

Важливою складовою концепції є інтеграція інноваційних енергоощадних технологій, таких як високоефективні теплоізоляційні матеріали, енергозберігаючі системи опалення, вентиляції та кондиціювання, автоматизовані системи управління освітленням, а також цифрові платформи моніторингу та аналізу енергоспоживання. Впровадження таких технологій у комплексі з організаційними рішеннями дозволяє досягти значного зниження енергетичних витрат, підвищити точність планування та контролю будівельних процесів, а також забезпечити адаптивність моделі до змінних умов експлуатації та будівництва.

Організаційний аспект концепції передбачає розробку механізмів координації всіх учасників будівельного процесу, управління трудовими ресурсами та матеріальними потоками, а також оптимізацію логістики будівельних матеріалів. Такий підхід дозволяє зменшити енергетичні втрати на етапі будівництва, підвищити ефективність використання матеріалів та забезпечити своєчасність виконання робіт. Організаційна структура моделі включає алгоритми прийняття рішень на основі системи критеріїв, що дозволяє автоматизувати вибір оптимальних рішень та підвищити надійність управлінських процесів.

Концептуальна модель передбачає використання адаптивних алгоритмів, здатних модифікувати технологічні та організаційні рішення відповідно до конкретних умов. Це дозволяє враховувати зовнішні фактори, такі як кліматичні умови та нормативні вимоги, та внутрішні фактори, включаючи особливості конкретного об'єкта, доступність матеріалів та кваліфікацію персоналу. Адаптивність моделі забезпечує гнучкість і стійкість будівельного процесу до змін, що є ключовим чинником підвищення енергоефективності [1].

Однією з ключових характеристик є модульність моделі, що дозволяє поєднувати різні технологічні та організаційні рішення у єдину структуру. Модульний підхід забезпечує можливість тестування різних комбінацій рішень, оцінки їх впливу на енергоспоживання та економічну ефективність, а також швидкої інтеграції новітніх технологій. Це підвищує універсальність моделі та дозволяє застосовувати її для житлових, громадських та промислових будівельних об'єктів [8].

Важливим елементом є систематизація даних щодо енергоспоживання та ефективності технологічних рішень. Використання баз даних, цифрових моделей та інформаційних платформ дозволяє здійснювати комплексний аналіз та прогнозування, що забезпечує науково обґрунтоване прийняття рішень. Інтеграція аналітичних інструментів і моделювання дозволяє оцінювати ризики, визначати критичні точки енергоспоживання та коригувати процеси для досягнення максимального ефекту енергоощадження [9].

Концептуальна модель передбачає поетапну реалізацію (рис. 2).

Загалом, концептуальне формування системно-інтегрованої організаційно-технологічної моделі енергоефективного будівництва є основою для науково-методичного забезпечення процесу будівництва, що дозволяє:

- ✓ системно координувати проектні, технологічні та організаційні рішення;
- ✓ інтегрувати інноваційні енергоощадні технології;
- ✓ підвищувати ефективність використання ресурсів;
- ✓ забезпечувати адаптивність і гнучкість будівельних процесів;
- ✓ оптимізувати витрати та підвищувати економічну доцільність;
- ✓ проводити прогнозування та моніторинг енергоспоживання.



Рис. 2. Етапи реалізації концептуальної форми реалізацію CIOTM енергоефективного будівництва

Таким чином, запропонована концептуальна модель (рис. 3) забезпечує комплексний науково обґрунтований підхід до формування сучасних організаційно-технологічних систем енергоефективного будівництва, інтегруючи науково обґрунтовані технологічні рішення, адаптивні алгоритми управління та цифрові інструменти оцінки результатів. Впровадження такої моделі сприяє підвищенню конкурентоспроможності будівельних підприємств, зниженню експлуатаційних витрат та забезпеченню сталого розвитку будівельної галузі.

Висновок.

Запропонована у статті концептуальна модель системно-інтегрованої організаційно-технологічної системи енергоефективного будівництва є науково обґрунтованою основою для створення комплексної системи управління енергоспоживанням у будівельній галузі. Вона поєднує проектні, технологічні та організаційні рішення на всіх етапах життєвого циклу будівельного об'єкта, забезпечуючи їх узгоджену взаємодію з урахуванням технічних, економічних та екологічних чинників.

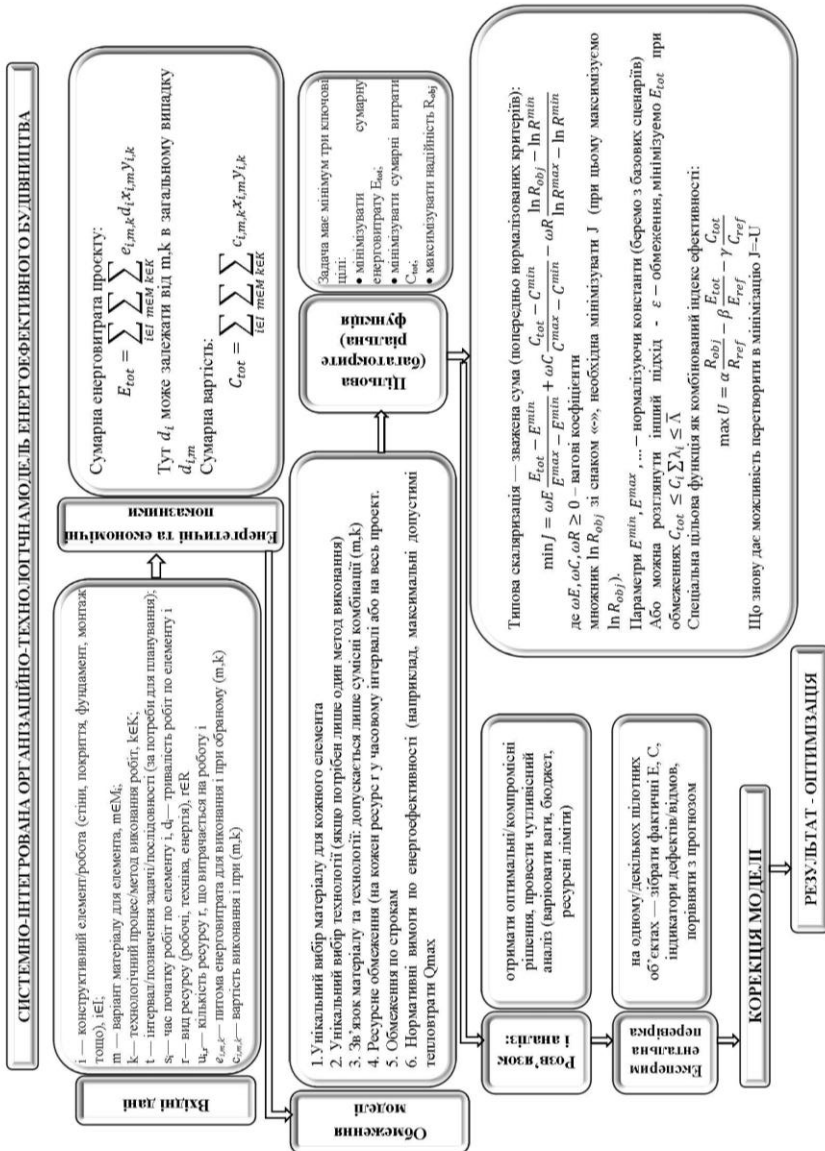


Рис. 3. Системно-інтегрована організаційно-технологічна модель енергоефективного будівництва

Розроблена концепція базується на принципах системної інтеграції, адаптивності та модульності, що дозволяє гнучко поєднувати різні енергоощадні технології й організаційні рішення в єдину структуру управління. Це сприяє зменшенню енергетичних втрат, підвищенню точності планування, скороченню термінів виконання робіт та покращенню якості будівництва. Впровадження моделі дає змогу оптимізувати ресурсні потоки, логістику будівельних матеріалів і трудові процеси, що безпосередньо підвищує економічну ефективність будівельного виробництва.

Практична значущість отриманих результатів полягає у можливості використання розробленої концептуальної моделі під час планування, організації та контролю будівельно-монтажних робіт, а також при формуванні енергетичної політики будівельних підприємств. Це дозволить знизити собівартість будівництва, підвищити енергоефективність об'єктів, скоротити негативний вплив на довкілля та забезпечити сталість розвитку будівельної галузі України.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на математичну формалізацію моделі, розроблення методики кількісної оцінки ефективності інтеграції енергоощадних технологій, а також створення цифрових двійників (Digital Twins) для моделювання та прогнозування енергоспоживання у процесі будівництва й експлуатації будівель.

Список літератури:

1. Арутюнян І.А., Жамілов О.Д., Веремій Г.Є. Енергоефективна політика в цивільному будівництві: можливості та перспективи застосування. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 2023. (23), 17–27. <https://doi.org/10.15802/bttrp2023/281075>
2. The story of your city – Europe and its urban development, 1970 to 2020, European Investment Bank, 2018, <https://data.europa.eu/doi/10.2867/460398>
3. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 29.12.2021 р. № 1803-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-p#Text>
4. Financing Putin's war: Fossil fuel imports from Russia in the first 100 days of the invasion. Centre for Research on Energy and Clean Air. URL: <https://energyandcleanair.org/publication/russian-fossil-exports-first-100-days/>
5. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII. Офіційний вісник України. 2017. № 61. С. 25. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
6. Підсумки-2019: громадська думка. URL: <http://razumkov.org.ua/napriamky/sotsiologichni-doslidzhennia/pidsumky2019-gromadska-dumka>
7. Відсутність електрики вплине на опалювальний сезон? Що буде з централізованим опаленням та тими, в кого газовий котел? Розбір Заборони. URL: <https://zaborona.com/vidsutnist-elektryky-shho-bude-z-zentralizovanyim-opalennyam-ta-tymy-v-kogo-gazovyj-kotel/>
8. Сердюк В.Р., Сердюк Т.В., Франишина С.Ю. Удосконалення огорожуючих конструкцій як джерело зниження теплових втрат сучасної будівлі. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2019. № 1. С. 153-159
9. Фаренюк Г.Г., Філоненко О.І., Тимофєєв М.В. Енергоефективність громадських будинків з врахуванням ергономіки теплового середовища.

Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2017. Вип. 135. С. 119-124

10. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК). URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_2_6_189/5-1-0-1790

Dmytro HALUSHKO

Conceptual formation of a system-integrated organizational and technological model of energy-efficient construction

The article considers the conceptual foundations of the formation of a system-integrated organizational and technological model of energy-efficient construction, taking into account energy-saving technological solutions. The relevance of the study is due to the need to increase the efficiency of energy use in the construction industry, which is one of the largest consumers of energy. In the context of rising energy costs, strengthening environmental requirements and the transition to sustainable development, it is especially important to form scientifically based models that provide comprehensive management of energy costs at all stages of construction. In the course of the analysis of research and publications, it was found that a significant number of scientific works, in particular by teachers of the Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, are devoted to certain aspects of energy efficiency – technological, material or organizational. However, the issue of systemic integration of these aspects into a single managed model remains insufficiently developed. Domestic and foreign authors emphasize the need to create multi-level management systems capable of ensuring the optimization of processes based on energy-saving technologies. The scientific significance of the work lies in the development of a conceptual scheme of a system-integrated organizational and technological model that combines the principles of energy efficiency, technological controllability and rational resource provision. This approach contributes to the improvement of the theoretical foundations of construction organization, expands the idea of intersystem relationships between technological and organizational components, forms prerequisites for the creation of complex models of construction process management. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of applying the developed conceptual provisions in the planning, organization and control of construction and installation works. The proposed model can be used to improve the energy efficiency of construction enterprises, optimize production resources, reduce energy consumption and increase the economic efficiency of construction projects. The introduction of a system-integrated approach ensures an improvement in the quality of construction, a reduction in the time of work and the creation of a modern energy-saving environment.

Keywords: *energy-efficient construction; energy-saving technologies; organizational and technological model; system-integrated approach; management of construction production; resource optimization; technological efficiency; energy saving; construction processes.*