

УДК 69.057:658.152

Р.Ю. Жалдак,

аспірант

ORCID:0000-0002-6139-1506

М.А. Дружинін,

канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0003-1821-1968

*Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ
Інститут інноваційної освіти КНУБА, м. Київ*

МОДЕРНІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИХ ІНДИКАТОРІВ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ВИКОНАВЦІВ ДЕВЕЛОПЕРСЬКИХ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

У статті розглянуто передумови оновлення сучасної парадигми організаційно-технологічного планування будівельного виробництва, її зміни у відповідності до сучасного розуміння забезпечення комплексної надійності, як мультиплікативного потоку множини ключових показників проекту. Модернізація операційно-аналітичних індикаторів функціонально-технологічної надійності виконавців девелоперських будівельних проєктів є ключовим аспектом удосконалення процесів будівництва та забезпечення якості робіт. Ця стаття досліджує сучасні стратегії та методи, спрямовані на підвищення ефективності та надійності будівельних проєктів. Аналізуються інструменти та підходи до вимірювання функціонально-технологічної надійності, зокрема, застосування метрик часу реакції на проблеми, ефективності вирішення проблем та загальної продуктивності. Розглядаються моделі та методи прогнозування ризиків, пов'язаних з технічними аспектами будівництва та функціонуванням об'єктів. Особлива увага приділяється розробці інтегрованих підходів до моніторингу та аналізу даних, що дозволяють оперативно виявляти потенційні проблеми та уникати негативних наслідків. Наводяться приклади впровадження сучасних технологій, таких як штучний інтелект, аналітика даних та інтернет речей, у системи контролю за процесами будівництва. Висвітлюються переваги цих інноваційних підходів у забезпеченні якості та терміновості виконання будівельних робіт, а також зменшенні ризиків функціональних порушень. Аналіз цих підходів дозволяє визначити оптимальні стратегії для модернізації операційно-аналітичних індикаторів функціонально-технологічної надійності у девелоперських будівельних проєктах.

Ключові слова: *операційно-технологічна надійність, будівельний проєкт, відмова, процес, параметрична оцінка*

Постановка проблеми. Новітня теорія надійності розвивається, як засіб вирішення сучасних і абсолютно нових викликів, що постають у процесі виникнення, розвитку та оновлення технічних, організаційних, економічних та управлінських систем. Розроблено численні практичні методи забезпечення надійності систем різного типу та функціонального призначення на стадії їх проектування, створення і експлуатації.

У загальноприйнятому розумінні зазначеної теорії поняття «надійність» розглядається, як необхідна здатність виконувати певне завдання або, як імовірність виконання певної функції, або функцій протягом заданого терміну в існуючих умовах, тобто, як безвідмовність виконання проектних дій. Безвідмовність - властивість системи безупинно зберігати працездатний стан протягом деякого часу або напрацювання. А працездатність – потенційна можливість виконувати необхідну діяльність на заданому рівні ефективності протягом певного часу.

Усі три вищенаведені категорії мають часову характеристику і вказують на необхідність зберігати працездатний стан тільки на протязі певного визначеного часу, що вказує на доцільність збереження та підтримки дієвого стану тільки в певні, визначені календарні терміни. Також, «надійність» додатково має імовірнісну характеристику, яка вказує на здатність забезпечення необхідного результату, але не на гарантію його досягнення. Тому, оскільки надійність представляє собою імовірність, для її оцінки застосовуються статистичні характеристики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стосовно особливостей та унікальних властивостей будівельного виробництва, надійність виконання будівельних процесів характеризується технологічними та організаційними заходами її забезпечення. Розробці методологічного підґрунтя організаційно-технологічної надійності (ФТН) будівельних процесів та проектів будівельної галузі присвячена значна кількість робіт, серед яких слід згадати російську наукову школу А.А. Гусакова і А.В. Гінзбурга [1], власне в якій у 1972 році А.А. Гусаковим вперше було запропоновано термін «організаційно-технологічна надійність» для будівельної галузі. ФТН розглядалась, як здатність організаційних та технологічних рішень забезпечувати досягнення заданого результату будівельного виробництва в умовах випадкових збурень, властивих будівництву, як складної стохастичною системі [2].

На протязі 1970-80 рр. професором А.А. Гусаковим та його послідовниками було проведено цикл наукових і проектно-експериментальних робіт зі створення теорії та методології організаційно-технологічної надійності будівництва. Були розширені поняття і методи математичної теорії надійності, розроблені для автоматизації, радіоелектроніки та інших складних технічних систем зі стаціонарними режимами. Але, розробки А.А. Гусакова стосуються переважно умов, які були притаманні радянській галузі будівельного виробництва та процесам організації будівництва, які є характерними для того часу та оточення.

Тому створена науково-теоретична база не враховує ринкових економіко-управлінських та організаційно-технологічних передумов формування сучасних обмежень та вимог до будівельних проєктів, які і визначають переважну кількість виникнення відмов та впливають на загальну надійність систем будівельного виробництва.

Вона також не враховує важливу в організаційно-управлінському розумінні диференціацію таких, безумовно, різних відмов, як тимчасові відхилення параметрів системи від проєктних значень, які здатні самоусуватися та впливають на систему проєкту тимчасово і мають переважно часові і вартісні наслідки – з одного боку, і можливий стовідсотковий вихід системи із функціонального становища – з іншого.

Ще одним напрямком комплікації питання сучасного організаційно-технологічного забезпечення будівництва, є те, що останнім часом, різке ускладнення систем будівельного виробництва призводить до збільшення кількості параметрів та елементів будівельних проєктів (постачальників, виконавців, матеріалів, технічного оснащення тощо), що, відповідно до одного з ключових законів теорії надійності, знижує надійність всієї системи у геометричній прогресії пропорційно до кількості розрахункових параметрів і елементів.

Таким чином, необхідність полягає в вдосконаленні існуючої парадигми ФТН будівництва, її зміни у відповідності до існуючих ринкових відносин у будівництві, сучасного розуміння забезпечення комплексної надійності реалізації будівельних проєктів, як мультиплікативного потоку множини ключових показників проєкту, який значною мірою залежить від взаємопов'язаних між собою організаційного, технологічного, економічного та управлінського потоків, що і обумовлює відповідну задачу наукових досліджень та визначає напрямки вирішення поставленої задачі.

Мета статті полягає у розробці методико-прикладних інструментів відповідного аналітичного супроводу сучасних організаційних структур управління організаційно-технологічною надійністю виконавців будівельних проєктів, що провадяться в рамках наявних ресурсних та часових обмежень, відповідно до вимог безпеки інвестування, графіку робіт та бюджету проєкту.

Вклад основного матеріалу. Основною принциповою відмінністю організаційно-технологічної надійності у будівництві від надійності інших складних технічних систем є те, що надійність будівельного виробництва характеризується в першу чергу, як надійність результатів діяльності, коли надійність технічних систем розглядається, як надійність функціонування технічних елементів та складових цих систем. Саме тому, на відміну від більшості складних технічних систем, які розглядаються загальною теорією надійності, системи будівельного виробництва характеризуються не повними, а частковими відмовами (збоями у будівельних та пов'язаних із ними процесах, зазвичай із порушенням

календарних строків та вартості будівництва), які усуваються в процесі функціонування системи. Складність такої природи та типу відмов полягає у тому, що параметри системи істотно відхиляються від проектних, але для визначення величини цих відхилень математичні методи згаданої теорії надійності неприйнятні. А кількість та різноманітність характеристик, параметрів, елементів і складових будівельного проекту, які потребують врахування на стадії обґрунтування та розробки проектної документації і проектних пропозицій пояснює те, що будівельні системи значно складніше технічних систем, а, таким чином, потребують спеціалізованих методів та моделей аналізу, оцінки і забезпечення ФТН будівельних проектів.

Якщо більш детально розглянути джерела походження відмов, що виникають, та, таким чином, негативно впливають на рівень ФТН будівництва і ефективність впровадження будівельного проекту, слід зазначити, що технологічні відмови це часткове або повне припинення будівельного процесу чи відразу групи будівельних процесів за технічною ознакою, яке приводить до відхилення фактичних параметрів від проектних. Щодо організаційної відмови, то це виникнення певної події або ситуації із ознаками організаційного, управлінського або економічного походження, в результаті якої встановлені проектні параметри і терміни виконання проектних дій відхиляються від фактичних.

Таким чином, організаційна надійність - це здатність організаційних, управлінських, економічних рішень із заданою імовірністю забезпечити отримання запланованого результату функціонування будівельного процесу в стохастичних умовах реалізації проекту, що властиво будівельному виробництву. В основу організаційної надійності закладена здатність таких рішень пов'язувати виконання будівельних процесів, щоб в разі виникнення відхилень було забезпечено їх функціонування. При цьому ключові показники виконання будівельних процесів не повинні перевищувати проектних значень.

В свою чергу, організаційна надійність базується на технологічній, яка повинна забезпечувати безперебійне функціонування будівельних процесів і при впливі технічних факторів не виходити за припустимі проектом межі.

Ключові показників виконання будівельних процесів та їх припустимі межі повинні кореспондувати із рівнем ФТН системі «виконавець-проект», забезпечувати цілісність і зрозумілість сприйняття показника ФТН та розглядатися, як параметри оцінки виконання договірних умов перед іншими учасниками проекту, що у будівельному виробництві відповідає календарним та вартісним показникам виконання будівельних процесів.

Затримка або зрив календарних термінів виконання проектів у будівництві або збільшення їх вартості обумовлюється дуже великим

переліком факторів впливу, але однією з основних причин, а іноді навіть і головною є недостатній рівень організаційно-технологічної надійності системи «виконавець-проект», тобто «будівельна організація – будівельний проект». Саме у системі координат «виконавець-проект» виникають динамічні зони перетину проектних вимог, рішень і заходів та можливостей і проектно-договірних зобов'язань виконавця (рис. 1), що у підсумку і забезпечує ефективне виконання проекту із заданими характеристиками.

З рисунку 1 видно, на практиці не можливе 100% виконання проектних дій виключно у межах зон співпадіння (складові вектору Z_p^v), що обумовлено їх динамічністю та імовірнісною природою параметрів, які їх характеризують, як у оточенні проекту, так і у оточенні виконавця (будівельної організації) та стохастичністю координат усіх точок перетину та зон співпадіння.

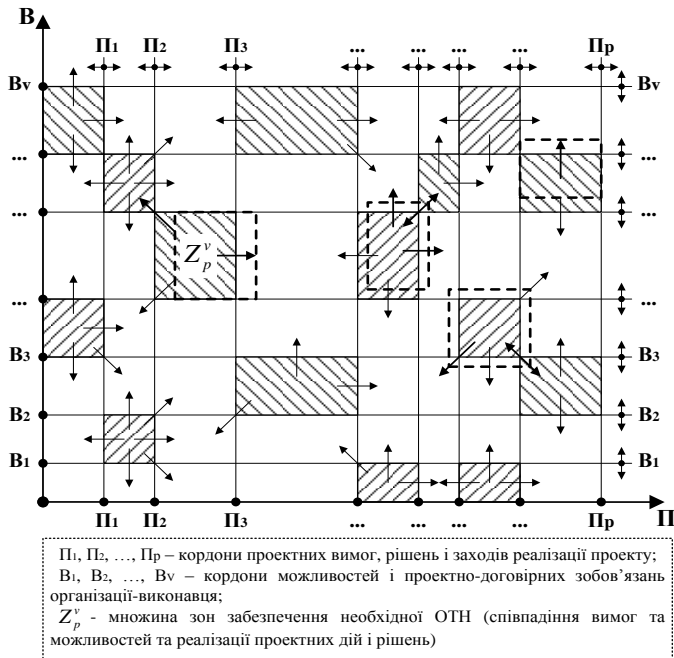


Рис. 1. Множина зон забезпечення функціонально-технологічної надійності у системі «будівельний проект-будівельна організація»
(розроблено автором)

Імовірнісний характер точок перетину (ключових проектних рішень або дій) та зон співпадіння (зон реалізації проектних дій та рішень) зайвий

раз доводить, що процес будівництва складний та багатогранний і для його забезпечення вирішується безліч завдань різного ступеня складності.

У ряді випадків єдиною можливим інструментом пошуку розташування наведених точок та зон перетину і вирішення завдань забезпечення ФТН будівельного проекту є методи математичного моделювання на всіх етапах життєвого циклу проекту. Їх розробці і дослідженню присвячено значну кількість робіт [2-5].

Так, у завданнях параметричної оцінки будівельних проектів на різних стадіях життєвого циклу основну роль відіграють різноманітні методи дослідження і, в першу чергу, це оптимізаційні моделі, імовірнісні та статистичні методи, методи аналізу складних систем, а також імітаційне моделювання. На передпроектній стадії проекту математичне моделювання дозволяє в ряді випадків дати прийнятні оцінки інтегральних технічних, часових, вартісних характеристик і, як результат, спрогнозувати їх імовірність, виявити їх залежність від проектних рішень.

На етапі реалізації будівельного проекту на перший план висувається математичне моделювання організаційно-технологічних та економіко-управлінських рішень будівельних процесів, що дозволяє визначити фактичні характеристики, порівняти їх із апріорними характеристиками проекту та виробити проектні рекомендації щодо корегування проектних дій у разі необхідності, та визначити фактичне значення ФТН системи «виконавець-проект».

Так, наприклад, один з найпоширеніших підходів у апріорному визначенні ФТН будівельного проекту відноситься до задачі одноцільової оптимізації і стосується прогнозування імовірності виконання із заданим параметром (наприклад, завершення будівельного проекту у заданий термін). У цьому випадку, для визначення ФТН у системі координат «виконавець-проект», розглядається статистична інформація про проекти, в яких брав участь виконавець та на підставі отриманого статистичного матеріалу визначається рівень ФТН ($P_{ФТН}$) будівельного проекту як імовірність p виконання робіт з апріорною тривалістю T , що не перевищує заданої тривалості проекту $T_{П}$: $P_{ФТН} = p(T < T_{П})$.

Нескладно побачити, що у вищевикладеній методиці міститься низка недоліків, яка обумовлюється труднощами у підготовці, наборі і обробці попередньої статистичної інформації про проекти, в яких брав участь виконавець, навіть, якщо останній таку інформацію надав у повному об'ємі. Якщо виконавець ще не мав достатньо виконаних проектів, які схожі на той, що розглядається і аналізується, статистична інформація буде невичерпна і, відповідно, величина імовірності буде мати низьку достовірність. Якщо ж виконавець має достатню кількість виконаних проектів і існує необхідний об'єм накопиченої статистичної інформації щодо будь-яких параметрів і характеристик їх фактичної реалізації, і така інформація може вважатися достовірною статистичною вибіркою, постають питання врахування особливостей і умов реалізації конкретного

проекту під час моделювання його апріорних характеристик та подальшого порівняння із статистичним показниками попередніх проектів, які мали інші особливості, умови реалізації і унікальні непередбачені проектною документацією виробничі ситуації, які виникли і були подолані саме у тих виконаних проектах.

Безумовно, показник $R_{ФТН}$, який знайдений з умовами останнього прикладу, має свою певну користь і у випадку багатоцільової оптимізації проектних рішень послугує, як додаткова апріорна інформативна одиниця у вирішенні питань, пов'язаних із доцільністю реалізації будівельного проекту, надійності запропонованих проектних рішень, можливості усунення імовірних відхилень тощо. Але, і для першого наведеного прикладу, і, навіть, для другого, згадана методика із наведеними обмеженнями і недоліками унеможливорює достовірне визначення рівня ФТН для окремої проектної характеристики, що також додатково звужує область можливих випадків і знижує достовірність оцінки.

В сучасних умовах, почали з'являтися інформаційні інструменти здатні забезпечити підтримку інтегрованої реалізації будівельного проекту. Саме до таких інструментів можна віднести технологію інформаційного моделювання в будівництві (англ. *Building Information Modeling, BIM*). Ідея BIM походить з 80-тих років ХХ ст., коли була концептуально описана науковцями і запроваджена в перших версіях програмного забезпечення САПР (*Система Автоматизованого Проектування*). В основі технології BIM лежить концепція об'єктно-орієнтованого параметричного проектування (моделювання) будівель. І це параметричне моделювання є однією з тих принципових особливостей, які відрізняють BIM-програми від всіх інших САПР систем проектування.

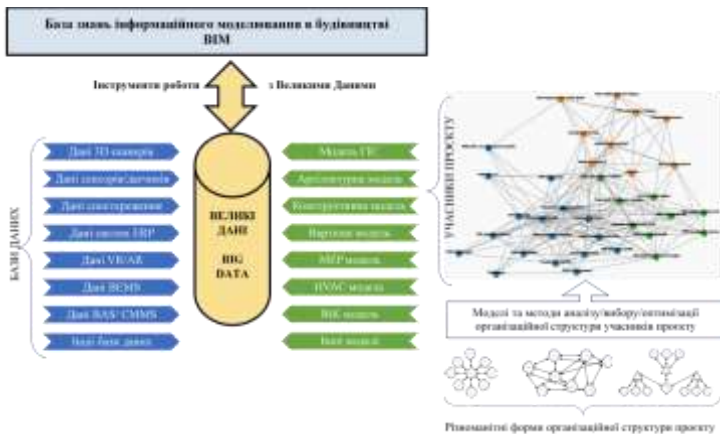


Рис. 2. Концептуальна модель дослідження, що базується на спільному запровадженні когнітивних механізмів [6]

Висновки. Інформаційне моделювання в будівництві може стати важливим інструментом для аналізу великих масивів даних (*англ. Big Data*) та генерації інформації і знань, які утворюються на кожному з етапів будівельного проекту. З активним розвитком концепції великих даних потребують зміни й деякі традиційні методи та моделі. Зокрема, концепція управління знаннями, заснована на порівняно невеликій їхній кількості, не завжди справляється з обробкою, аналізом і отриманням знань при значному збільшенні обсягу вхідних даних. Накопичені великі набори даних можуть бути корпоративним активом, використання якого дозволяє складати кращі прогнози і приймати правильні обґрунтовані рішення. Крім того, знання, які виникли в проекті та пройшли випробування практикою, можна вважати більш надійними у порівнянні з даними експериментів або моделювання, оскільки вони містять більше основоположних знань щодо реальності.

Таким чином, один з найпоширеніших підходів у апіорному визначенні ФТН не може розглядатися, як самодостатня та надійна для визначення рівня ФТН системи «виконавець-проект» і прийняття рішення щодо необхідності включення проекту, що розглядається, до портфелю проектів будівельної організації.

References:

1. Gusakov, A.A. (1974). Organizational and technological reliability of construction production (in the conditions of automated design systems Sroyizdat. 252 p.
2. Gusakov, A.A., Veremeenko, S.A., Ginsburg, A.V., etc. (1974). Organizational and technological reliability of construction / [ed. by A.A. Gusakov. Sv R - Argus, 1994. 472 p.
3. Mlodetsky, V.R., Tian, R.B., Popova, V.V., Martysh, A.A. (2013). Organizational, technological and economic reliability in construction. Science and Education, 2013. 193 p.
4. Antipenko, E.Y., Donenko, V.I. (2005). Principles of capital investment analysis. Zaporizhzhia: Fazan; Wild Field, 420 p.
5. Kuznetsov, S.M., Legostaeva, O.A., Mikhalchenko, O.Y. et al. (2008). Organizational and technological reliability of construction processes. *Stroitelstvo*. Issue 6. P. 57-65.
6. Trach, R. (2018). Research of modern methods of realization of construction projects. *Modern technologies and methods of calculations in construction*. Issue 9. P. 149- 158.
7. Brennan, M.D. (2011). Integrated project delivery: a normative model for value creation in complex military medical projects. University of Illinois at Urbana-Champaign.

8. Grigorovsky, P.E., Chukanova, N.P., Gorda, O.V. (2019). Information environments in construction. *Construction production*. Issue 68. P. 15-19.

9. Ryzhakova, G.M. (2022). Modern vector of construction development renewal in the context of Integrated Project Delivery strategies. *Management of the development of complex systems*. Issue 49. P. 113-123.

10. Pokolenko, V., Malykhina, O., Chuprina, Y., Gorbach, M. & Voloshyna, T. (2017). Innovative technology of estimation of quality of management of building contracting enterprises. *Management of Development of Complex Systems*, 32, 146 – 152.

11. Ryzhakova, G.M., Prykhodko, D.O., Pokolenko, V.O., Petrukha, N.M., Chupryna, Y.A., Khomenko, O.M. (2022). Update of scientific and methodological approaches to the construction of a multi-criteria system for managing the activities of enterprises-stakeholders of projects. *Spatial development*. Issue 1. P. 218-233.

12. Ryzhakov, D.A., Pokolenko, V.O., Petrukha, S.V., Ivakhnenko, I.S., Predun, K.M., Prykhodko, O.O., Nikolayev, G.V. (2022). Information and analytical innovations and business models of enterprise management in the modern system of construction development. *Management of the development of complex systems*. Issue 52. P. 103-112.

13. Tugai, O.A., Hryhorovskiy, P.Ye., Khyzhniak, V.O., Stetsenko, S.P., Bielienskova, O.Yu., Molodid, O.S., Chernyshev, D.O. (2019). Organizational and technological, economic quality control aspects in the construction industry: collective monograph. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 136 p.

14. Livinskyi, O.M., Kliuiev, V.V., Savenko, V.I. , etc. (2018). Menedzhment yakosti v budivnytstvi ta vyrobnychi orhanizatsiini systemy: monohrafiia. Kyiv: Tsentр uchbovoi literatury. 230 p.

15. Ekonometrychnyi instrumentarii upravlinnia finansovoiu bezpekoiu budivelnoho pidprijemstva: monohrafiia. Kyiv: KNUBA, 2017. 404 p.

16. Sorokina, L.V., Hoiko, A.F., Kovalenko, Ye.S. (2019). Benchmarkinrove otsiniuvannia nadiinosti kontrahentiv budivelnnykh pidprijemstv u nestabilnomu ekonomichnomu seredovyshchi. *Budivelnne vyrobnytstvo*. Issue. 68. P. 78-84

R. Zhaldak, M. Druzhynin

Modernization of operational and analytical indicators of functional and technological reliability of development construction projects

The article discusses the background and main aspects need to update modern paradigm of construction organizational and technological planning, it changes according to the current understanding of providing comprehensive reliability construction projects realization as flow multiplier set of key indicators of a project. Considered flaws of one of the most common methodology in prior definition of organizational and technological reliability

of the construction project, which belongs to the single-purpose optimization problems and concerns predicting the probability of an execution process with given parameters.

Modernization of operational and analytical indicators of functional and technological reliability of development construction project executors is a key aspect of improving construction processes and ensuring the quality of work. This abstract explores modern strategies and methods aimed at improving the efficiency and reliability of construction projects. Tools and approaches to measuring functional and technological reliability are analyzed, including the use of metrics for problem response time, problem solving efficiency, and overall performance. Models and methods for predicting risks associated with the technical aspects of construction and operation of facilities are considered. Particular attention is paid to the development of integrated approaches to monitoring and data analysis that allow for the prompt identification of potential problems and avoidance of negative consequences. Examples of the introduction of modern technologies, such as artificial intelligence, data analytics and the Internet of Things, into construction control systems are provided. The advantages of these innovative approaches in ensuring the quality and timeliness of construction works, as well as reducing the risks of functional disruptions are highlighted. The analysis of these approaches allows us to determine the optimal strategies for modernizing operational and analytical indicators of functional and technological reliability in development construction projects.

Keywords: *organizational and technological reliability, construction project, the rejection process, parametric evaluation*

Посилання на статтю:

APA: Zhaldak, R., Druzhynin, M. (2023). Modernization of operational and analytical indicators of functional and technological reliability of development construction projects. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*, 52(2), 58 - 67.

ДСТУ: Жалдак Р.Ю., Дружинін М.А. Модернізація операційно-аналітичних індикаторів функціонально-технологічної надійності виконавців девелоперських будівельних проєктів. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2023. № 52(2). С. 58-67.