

Олексій ТУГАЙ,

д-р техн. наук, професор

ORCID: 0000-0001-6255-3119

Михайло КОВТУН,

аспірант

ORCID: 0009-0000-2303-2169

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ВПЛИВУ УСКЛАДНЮЮЧИХ ФАКТОРІВ НА ТРУДОМІСТКІСТЬ ЗДІЙСНЕННЯ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ

У статті розглядається актуальна проблема сучасної будівельної практики, де реалізація інвестиційних проєктів дедалі частіше відбувається в нестандартних умовах під впливом значної кількості ускладнюючих факторів. Зазначено, що ці чинники безпосередньо впливають не лише на технологію виконання робіт, але й на процес здійснення контрольних процедур Замовником. Доведено, що хоча наявна нормативна база регламентує вплив таких умов на кошторисну вартість, вона ігнорує зростання трудомісткості інжинірингового персоналу. Відтак, відсутність об'єктивної кількісної оцінки унеможливує раціональне нормування праці служби технічного нагляду. З огляду на це, метою дослідження є обґрунтування методики кількісної оцінки впливу ускладнюючих факторів на трудомісткість інжинірингового персоналу для формування математичного апарату нормування трудовитрат. У процесі дослідження із загального масиву виокремлено 7 найвагоміших факторів, що релевантно впливають на технічний нагляд: частота внесення змін до проєкту, рівень використання новітніх технологій, інтенсивність праці, загальний рівень ризику, конструктивна складність проєкту, необхідний рівень експертизи та тривалість будівництва. На базі цих параметрів запропоновано математичну модель розрахунку інтегрального показника складності технагляду, яка спирається на вагові коефіцієнти та бальну оцінку факторів. Практичну дієвість підходу підтверджено розрахунком показника для проєкту влаштування плоскої мембранної покрівлі з інтегрованими сонячними панелями. Підсумовано, що розрахований інтегральний показник є визначальним чинником в управлінні виробничими процесами, дозволяючи ефективно розподіляти ресурси інжинірингових служб. Доведено, що ускладнення проєктів вимагає переходу до управління структурною інформацією та взаємодії з цифровим середовищем для верифікації наглядових процедур.

Ключові слова: будівельні процеси, ускладнюючі фактори, оптимізація процесів, ефективність, моделювання, методологія, математичне моделювання, організація будівництва, організаційно-технологічні рішення, планування ресурсів, управлінські рішення, цифровізація.



Постановка проблеми. У сучасній будівельній практиці реалізація інвестиційних проєктів дедалі частіше відбувається в нестандартних умовах, що супроводжуються впливом значної кількості ускладнюючих факторів. Зазначені фактори безпосередньо впливають не лише на технологію виконання будівельно-монтажних робіт підрядною організацією, але й на процес здійснення контрольно-наглядових процедур зі сторони Замовника. Проведення технічного нагляду в ускладнених умовах об'єктивно супроводжується підвищенням фізичного та когнітивного навантаження на інженера: ускладнюється доступ до точок інструментального контролю, збільшується час на візуальний огляд конструкцій та перевірку актів на приховані роботи, зростає кількість технологічних колізій, що потребують оперативного вирішення безпосередньо на майданчику.

Наявна нормативна база та усталені методологічні підходи до організації будівництва детально регламентують вплив ускладнюючих факторів на кошторисну вартість робіт та продуктивність праці робітників-будівельників. А от вплив на трудомісткість та специфіку роботи інжинірингового персоналу досі ігнорується, що призводить до невідповідності між фактичними потребами в контролі та традиційними підходами до його організації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Незважаючи на ґрунтовне міжнародне дослідження природи ускладнюючих факторів будівництва (зокрема складності комунікацій та управління змінами), аналіз літератури виявляє суттєву наукову прогалину. Переважна більшість наукових досліджень зосереджена на оцінці загальних даних проєкту (бюджет і строки) або на продуктивності підрядної організації. Водночас у науковому дискурсі вкрай мало уваги приділяється тому, як ці ж самі фактори впливають на безпосередню роботу інжинірингового персоналу, в тому числі службу технічного нагляду.

У цьому контексті автори [1] здійснили кількісну оцінку складності проєктів з позиції основних стейкхолдерів, ідентифікувавши понад 100 специфічних показників. Оскільки сама лише констатація факторів складності не вирішує практичних проблем, подальші дослідження зосередилися на розробці набору управлінських стратегій, адаптованих під конкретні категорії ускладнюючих факторів, що дозволяє підвищити загальну ефективність реалізації проєктів [2-3].

Зростання складності об'єктивно призводить до ускладнення взаємодії між учасниками будівництва. Досліджуючи цей зв'язок, Kamalirad та ін. проаналізували, як саме фізичні та управлінські характеристики проєкту впливають на комунікацію замовників, проєктувальників та підрядників. Для системного вирішення проблеми обміну даними вони застосували метод факторного аналізу, побудували «драбину комунікацій» життєвого циклу проєкту [4] та розробили зовнішні комунікаційні мережі для мінімізації втрат інформації [5, 6-7].

Коли ж складність проєкту не компенсується належною організацією процесів, неминуче виникає проблема запізнених змін та переробок. В роботах [8, 9] систематизовано провідні індикатори переробок, серед яких ключове місце займають організаційні та управлінські фактори. Фактичну ціну таких організаційних збоїв довели, використовуючи системно-динамічне моделювання, яким математично обґрунтували, як запізнілі накази про зміни створюють ланцюгову реакцію, що різко знижує продуктивність праці будівельників [10].

Особливо гостро ця проблема проявляється в контексті організаційно-управлінських факторів (неналагоджена комунікація між стейкхолдерами,

багатозмінний режим роботи, постійні зміни в проєкті та необхідність контролю переробок).

В роботах українських вчених також є деякі напрацювання в цьому напрямку. Так, у праці [11] представлено результати досліджень щодо впливу повітряних загроз на діяльність інженера з технічного нагляду та розроблено методичні підходи до врахування цього чинника при плануванні та організації здійснення технічного нагляду в умовах підвищеного ризику. Авторами [12] проаналізовано державні та зарубіжні нормативні документи щодо наявності в них вимог врахування впливу ускладнюючих факторів при організації інжинірингових послуг при будівництві об'єктів архітектури. За результатом такого аналізу систематизовано можливі ускладнюючі фактори та зроблено висновок про доцільність та необхідність їх врахування при плануванні та заключенні контрактів на інжинірингові послуги. Згідно з результатами даних аналітичних досліджень, в Україні склалася ситуація, за якої обов'язковість технічного нагляду закріплена законодавчо, проте відсутні будь-які нормативно визначені механізми врахування «ускладнюючих факторів». Це призводить до того, що:

- планування ресурсів інженерного персоналу здійснюється без урахування реальної технологічної складності об'єкта.
- ігноруються ризики, пов'язані з географічними умовами, регуляторним середовищем та соціально-екологічними факторами.
- вартість та інтенсивність послуг не адаптуються до змін у проєктній документації або специфічних вимог замовника в ході реалізації контракту.

У дослідженні запропоновано дворівневу систему класифікації факторів, що мають визначальний вплив на складність інжинірингових процесів:

- загальнопроєктні фактори: охоплюють 12 ключових параметрів, вихід кожного з яких за межі «усталеної практики» автоматично переводить проєкт у категорію підвищеного ризику.
- специфічні (функціональні) фактори: зумовлені призначенням об'єкта (аеропорти, залізниці, медичні установи тощо). Автори доводять, що технологічна насиченість об'єкта та кількість інтерфейсів (вузлів сполучення та взаємодії) є прямо пропорційними складності здійснення технічного нагляду.

На сьогодні відсутня об'єктивна кількісна оцінка того, наскільки саме ці фактори збільшують навантаження на інженера технічного нагляду. Ігнорування цього аспекту унеможливорює раціональне нормування праці фахівців та призводить до зниження надійності контрольно-наглядових процедур.

З огляду на це, логічним продовженням та основною метою даного дослідження є математичне обґрунтування та визначення вагомості окремих ускладнюючих факторів (з акцентом на організаційно-управлінську групу) для формування адекватної моделі розрахунку фактичної трудомісткості здійснення технічного нагляду на складних об'єктах.

Мета. З огляду на виявлену прогалину в наявних методологічних підходах, метою статті є обґрунтування методики кількісної оцінки впливу ускладнюючих факторів на трудомісткість інжинірингового персоналу. Це дозволить сформувати математичний апарат для раціонального нормування трудовитрат та регламентації процесів здійснення технічного нагляду на складних об'єктах будівництва.

Виклад основного матеріалу. Незважаючи на те, що повний перелік загальнопроєктних факторів [12], систематизований у даній науковій праці охоплює 12 ключових параметрів, для подальшого розроблення методики нами

було здійснено їх диференціацію за ступенем впливу на конкретні функціональні обов'язки інженера з технічного нагляду.

Вихід кожного з 12 параметрів за межі «усталеної практики» автоматично переводить будівельний проект у категорію підвищеного ризику. Проте, враховуючи специфіку діяльності технагляду, яка зосереджена на верифікації відповідності робіт проєктним рішенням та нормативним вимогам, із загального масиву було виокремлено 7 найбільш релевантних факторів (таблиця 1).

Таблиця 1

Вибірка факторів, що впливають на складність технічного нагляду

Фактори впливу (наслідки впливу)	
Незначний вплив	Значний вплив
<i>Внесення змін до проєкту (суттєві перепроєктування потребують від технагляду додаткової перевірки нових креслень та верифікації змінених обсягів робіт)</i>	
незначні зміни з мінімальними перепроєктуваннями	суттєві зміни, що потребують значного включення інжинірингового персоналу до процесу перепроєктування
<i>Інтенсивність праці (великі проєкти з цілодобовим графіком або високою швидкістю зведення потребують збільшення частоти інспекційних візитів)</i>	
звичайне будівництво	великий проєкт що потребує додаткового нагляду або більша тривалість через складність робіт
<i>Рівень експертизи та досвід (складність послуг технагляду зростає пропорційно вимогам до глибини знань інспекційного складу, особливо на об'єктах підвищеної складності)</i>	
потрібна помірна експертиза	значна спеціалізована експертиза та обширно необхідний досвід
<i>Рівень ризику, відповідальності (об'єкти з високим рівнем наслідків (СС2, СС3) прямо корелюють зі ступенем юридичної та технічної відповідальності особи, що здійснює нагляд)</i>	
низький рівень відповідальності та /або ризиків	високий рівень відповідальності та/або ризиків
<i>Рівень новітніх технологій (застосування неперевіраних або складних систем вимагає від фахівця спеціалізованої експертизи для підтвердження якості їх впровадження)</i>	
новітні технології не застосовуються	багато новітніх технологій, якими потрібно оволодіти для включення в проєкт
<i>Складність проєкту (перехід від стандартних рішень до незвичних технологічних систем суттєво змінює регламент контрольних процедур)</i>	
прості проєкти, де проєкт заснований на усталеній практиці та галузевих стандартах	складні проєкти, де роботи вимагають створення та застосування нових, незвичних або неперевіраних технологій чи систем
<i>Тривалість проєкту (надмірне подовження термінів будівництва щодо вартості робіт створює додаткове організаційне навантаження на процес супроводу об'єкта)</i>	
тривалість, пропорційна трудомісткості	тривалість надмірна щодо вартості робіт через подовжений договірний період

Такий селективний підхід дозволяє сфокусувати математичне моделювання на тих чинниках, які мають найбільшу вагу при визначенні трудомісткості та вартості послуг з технічного нагляду, забезпечуючи високу точність результатів дослідження.

Для перетворення якісних характеристик обраних факторів на кількісні показники з метою моделювання організаційно-технологічних рішень для обґрунтування трудомісткості технічного нагляду потрібно побудувати математичну модель (таблиця 2) інтегрального показника складності технагляду (Kct). Така математична модель дає змогу замовнику не просто констатувати складність, а обґрунтовано розрахувати додаткові витрати ресурсів на надання інжинірингових послуг.

Для цього пропонується наступна формула:

$$Kct = \sum_{i=0}^7 w_i \cdot f_i \quad (1)$$

де w_i – ваговий коефіцієнт i -го фактора (визначається експертним шляхом, $\sum w_i = 1$); f_i – бальна оцінка інтенсивності i -го фактора (наприклад, від 1 до 5), де 1 – «незначний вплив», а 5 – «значний вплив».

Таблиця 2

Матриця вагових коефіцієнтів та інтенсивності факторів

№	Фактор впливу (fi)	Опис впливу на технагляд	Орієнтовна вага (wi)
1	внесення змін до проекту	обсяг перевірки нових креслень та верифікації обсягів	0,20
2	рівень новітніх технологій	Потреба в опануванні нових систем та методів контролю	0,15
3	інтенсивність праці	потреба у додаткових виїздах та подовжених змінах нагляду	0,15
4	рівень ризику / відповідальності	ступінь юридичної відповідальності за безпеку об'єкта	0,15
5	складність проекту	використання неперевіраних технологій, що потребують спецконтролю	0,10
6	рівень експертизи та досвід	необхідність залучення фахівців вищої кваліфікаційної категорії	0,15
7	тривалість проекту	адаптація графіка нагляду до подовженого договірного періоду	0,10

Кожен фактор у моделі є джерелом вхідної структурної інформації. Наприклад, високий бал за фактором «внесення змін до проекту» сигналізує про необхідність оновлення даних про проєкт та перегляду «зупиняючих точок».

Використання такої моделі дозволяє реалізувати системно-технічний підхід, описаний у [13], де організація будівельного виробництва розглядається через призму оптимізації та логістичних моделей.

Для підтвердження дієвості запропонованого підходу проведено розрахунок інтегрального показника складності технагляду Kct для проєкту влаштування плоскої мембранної покрівлі по профлісту з утеплювачем та встановленням сонячних панелей. Вибір об'єкта зумовлений тим, що сучасні покрівлі є складними

багатошаровими системами, де організаційно-технологічні рішення вимагають високої точності моделювання.

На основі систематизації факторів для даного об'єкта встановлено наступні рівні впливу (таблиця 3):

Таблиця 3

Матриця вагових коефіцієнтів та інтенсивності факторів

№	Фактор впливу (f _i)	Опис впливу на технагляд	Рівень впливу (f _i)
1	внесення змін до проєкту	суттєві зміни в ході робіт через зміну теплоізоляційного матеріалу та уточнення теплоізоляційних характеристик потребують значного включення персоналу до перепроєктування	4
2	рівень новітніх технологій	використання полімерних мембран та інтегрованих сонячних панелей потребує від інженера технагляду специфічних знань, що виходять за межі «усталеної практики»	5
3	інтенсивність праці	-	-
4	рівень ризику/відповідальності	висока відповідальність за герметичність та енергоефективність системи	4
5	складність проєкту	складна геометрія покрівлі та велика кількість блоків і примикань	5
6	рівень експертизи та досвід	-	-
7	тривалість проєкту	-	-

Підставляючи значення у формулу K_{ст}, отримуємо кількісну оцінку складності, яка для даного прикладу перевищує базовий рівень у 1.8 рази.

Висновок і перспективи подальших досліджень. Отриманий інтегральний показник K_{ст} виступає визначальним чинником у процесі формування системи управління виробничими системами («Management of Production Systems»), оскільки висока інтенсивність факторів внесення змін до проєкту (f₁) та загальної складності об'єкта (f₅) створює базис для побудови математичної моделі комплексної оцінки сумісності процесів. Застосування такої моделі в діяльності технічного нагляду дозволяє не лише нівелювати ризики технологічних простоїв, а й гарантувати ефективне використання наявного ресурсу при виконанні будівельних робіт. Водночас значна складність реалізації проєкту зумовлює перехід до стратегії управління структурною інформацією («Structural Information Management»), що трансформує традиційні методи контролю у формат взаємодії з цифровими двійниками об'єктів. У межах такого підходу кожна критична «зупиняюча точка» (hold point) підлягає обов'язковій верифікації на основі даних математичного моделювання, що забезпечує безперервність та прозорість наглядових процедур.

Список літератури:

1. Kermanshachi S., Safapour E. Identification and quantification of project complexity from perspective of primary stakeholders in US construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2019, 25(4), 380–398. <https://doi.org/10.3846/jcem.2019.8633>
2. Safapour E., Kermanshachi S., Shane J., Anderson S. Exploring and assessing the utilization of best practices for achieving excellence in construction projects. *CSCE Annual Conference: Leadership in Sustainable Infrastructure*. Canadian Society for Civil Engineering. 2017. 1-10.
3. Kermanshachi S., Nipa T.J., Dao B. Development of complexity management strategies for construction projects. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 2021, 21(6), 1633–1657. <https://doi.org/10.1108/JEDT-06-2021-0324>
4. Kamali Rad S., Kermanshachi S. Development of project life cycle communication ladder framework using factor analysis method. *Construction Research Congress 2018*. American Society of Civil Engineers. 543-552. <https://doi.org/10.1061/9780784481301.054>
5. Kamalirad S., Kermanshachi S., Shane J., Anderson S. Assessment of construction projects' impact on internal communication of primary stakeholders in complex projects. *CSCE Annual Conference: Leadership in Sustainable Infrastructure*. Canadian Society for Civil Engineering. 2017. 1-10.
6. Kermanshachi S., Anderson S., Molenaar K.R., Schexnayder, C. Effectiveness assessment of transportation cost estimation and cost management workforce educational training for complex projects. *International Conference on Transportation and Development 2018*. American Society of Civil Engineers. 82-93. <https://doi.org/10.1061/9780784481561.009>
7. Kamalirad S., Kermanshachi S. Development of project communication network: A new approach to information flow modeling. *Construction Research Congress 2018*. American Society of Civil Engineers. 428-438. <https://doi.org/10.1061/9780784481271.042>
8. Taneja P. (2019). *Identification of the manageable construction rework indicators and related successful strategies* [Master's thesis, The University of Texas at Arlington]. 2019. 1-61.
9. Safapour E., Kermanshachi S., Taneja P. Investigation and analysis of the rework leading indicators in construction projects: State-of-the-art review. *CSCE Annual Conference*. Canadian Society for Civil Engineering. 2019. 1-10.
10. Kermanshachi S., Thakur R., Govan P. Discovering the impact of late change orders and rework on labor productivity: A water treatment case study analysis using system dynamics modeling. *Construction Research Congress 2018*. American Society of Civil Engineers. 691-701. <https://doi.org/10.1061/9780784481295.069>
11. Тугай О.А., Ковтун М.О. Аналіз впливу повітряних загроз на здійснення технічного нагляду під час будівництва об'єктів архітектури. *Будівельне виробництво*, 2025, 79, 29-34. <https://doi.org/10.36750/2524-2555.79.29-34>
12. Лащівський В.В., Івлева Н.П., Терещенко Л.В., Макаренко Р.М. Аналіз факторів, що мають вплив на складність інжинірингових послуг. *Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 2025, 47, 245-556. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i47.59>
13. Арутюнян І.А., Коваленко О. Оптимізація організаційних процесів у цивільному будівництві за допомогою логістичних моделей. *Мости та тунелі:*

теорія, дослідження практика. 2024. № 25. С. 13-19.
<https://doi.org/10.15802/bttrp2024/303286>

Oleksii TUHAI, Mykhailo KOVTUN

Quantitative assessment of the impact of complicating factors on the labor intensity of technical supervision

The article considers an urgent problem in modern construction practice, where the implementation of investment projects increasingly occurs in non-standard conditions under the influence of a significant number of complicating factors. It is noted that these factors directly affect not only the technology of executing works but also the process of carrying out control and supervisory procedures by the Customer. It is proven that although the existing regulatory framework governs the impact of such conditions on the estimated cost, it ignores the increase in the labor intensity of engineering personnel. Consequently, the lack of an objective quantitative assessment makes the rational standardization of the technical supervision service's labor impossible. Given this, the aim of the study is to substantiate the methodology for the quantitative assessment of the impact of complicating factors on the labor intensity of engineering personnel to form a mathematical apparatus for standardizing labor costs. During the study, 7 of the most significant factors that prevalently affect technical supervision were distinguished from the general array: the frequency of project changes, the level of implementation of innovative technologies, labor intensity, the overall risk level, the structural complexity of the project, the required level of expertise, and the duration of construction. Based on these parameters, a mathematical model for calculating the integral technical supervision complexity index is proposed, relying on weight coefficients and a scoring assessment of the factors. The practical effectiveness of the approach is confirmed by calculating the index for a project involving the installation of a flat membrane roof with integrated solar panels. It is summarized that the calculated integral index is a determining factor in managing production processes, allowing for the efficient allocation of engineering service resources. It is proven that the increasing complexity of projects requires a transition to structural information management and interaction with the digital environment to verify supervisory procedures.

Keywords: complicating factors, quantitative assessment, labor intensity of technical supervision, systems engineering approach, integral technical supervision complexity index, impact level.

Дата надходження статті: 20.01.2026

Дата прийняття статті: 23.02.2026