

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ БУДІВНИЦТВА НА ПРИКЛАДІ МАЛЯРНИХ РОБІТ

У статті розглядається науково-практична проблема моделювання параметрів якості будівництва на прикладі малярних робіт як однієї з ключових складових оздоблювального циклу під час капітального ремонту будівель і споруд. Якість малярних робіт значною мірою визначає не лише естетичні характеристики поверхонь, а й довговічність, експлуатаційну стійкість та захисні властивості конструкцій, що зумовлює необхідність формалізації факторів, які впливають на кінцевий результат. У роботі обґрунтовано актуальність використання регресійного та аналітичного моделювання для оцінювання технологічної трудомісткості та визначення взаємозв'язків між матеріалоємністю, витратами праці та параметрами технологічної якості. Застосовані підходи дали змогу виявити характерні закономірності зміни трудомісткості залежно від кількості використаних матеріалів у різних виробничих умовах – під час виконання внутрішніх, зовнішніх та фасадних малярних робіт.

На основі статистичної обробки та моделювання побудовано регресійні залежності, що відображають ступінь впливу ключових технологічних параметрів на ймовірність виникнення відхилень якості. Доведено, що трудомісткість процесу має нелінійний характер і формує три відмінні зони ризику: область недостатніх витрат праці, яка супроводжується підвищеною ймовірністю браку; оптимальний інтервал трудомісткості, у якому забезпечується максимальна стабільність технологічних операцій; та область надмірних трудових витрат, що вказує на погіршення організації робіт і потенційне зниження якості. Для кожної групи малярних робіт визначено рівень впливу матеріалоємності на формування трудових навантажень і показано, що внутрішні роботи характеризуються найбільш передбачуваними параметрами, у той час як фасадні – найбільш чутливі до впливу зовнішніх чинників.

Результати дослідження мають важливе практичне значення, оскільки формують методологічні передумови для створення ефективних моделей прогнозування якості оздоблювальних процесів та для удосконалення системи нормування трудових витрат. Запропонований підхід сприяє підвищенню точності планування ресурсів, визначенню критичних відхилень, оптимізації організаційно-технологічних рішень і забезпеченню сталого рівня якості під час виконання малярних робіт у будівництві. Представлені результати можуть бути використані у практиці проектування, виконання та контролю будівельних робіт, а також слугувати основою для подальшого розвитку інтегрованих цифрових моделей управління якістю в будівельній галузі.

Ключові слова: *моделювання якості; якість будівництва; малярні роботи; трудомісткість; матеріалоемність; дефекти оздоблення; регресійний аналіз; параметри технологічного процесу; організаційно-технологічне забезпечення; контроль якості; управління ризиками; організаційно технологічні процеси; експлуатаційна надійність; організація будівництва.; капітальний ремонт; цифрові технології контролю.*

Вступ. У сучасних умовах розвитку будівельної галузі питання забезпечення та прогнозування якості будівельних процесів набуває стратегічного значення, оскільки якість виконання робіт безпосередньо впливає на надійність, довговічність, безпеку та експлуатаційні характеристики споруд. Малярні роботи, попри їх видиму простоту, є критичною складовою оздоблювального циклу, яка формує не лише естетичні, а й функціональні властивості поверхонь, включно зі стійкістю до зносу, впливу середовища та експлуатаційних навантажень. Саме тому моделювання параметрів, що визначають якість малярних робіт, є важливим напрямом наукових досліджень, здатним забезпечити підвищення керованості та прогнозованості будівельного виробництва.

Проблематика управління якістю у будівництві ускладнюється значною варіативністю технологічних операцій, широким спектром матеріалів, різноманітністю умов виконання робіт та залежністю кінцевого результату від людського фактора. Малярні процеси є особливо чутливими до відхилень технологічних режимів, неправильної оцінки трудових витрат, недотримання послідовності робіт або нераціонального використання матеріалів. За відсутності формалізованих моделей параметрів якості та науково обґрунтованих залежностей між технологічними показниками та результатами робіт забезпечення стабільної якості залишається переважно емпіричним.

У цьому контексті моделювання параметрів якості постає необхідною передумовою переходу від descriptive-підходів до predictive-моделей, здатних передбачати поведінку технологічної системи й оцінювати потенційні ризики погіршення якості. Наукові моделі дають можливість формалізувати взаємозв'язки між витратами праці, матеріалоемністю, технологічними режимами та показниками якості, що створює умови для впровадження цифрових методів контролю, оптимізації виробничих рішень і стандартизації процесів.

Додаткової актуальності дослідженню надає необхідність адаптації будівельної галузі до сучасних тенденцій цифрової трансформації, включно з використанням регресійного аналізу, машинного навчання, імітаційного моделювання та систем підтримки прийняття рішень. Побудова та валідація моделей якості на прикладі малярних робіт створює універсальний методичний фундамент, який може бути поширений на інші технологічні процеси обробки поверхонь, ремонту й реконструкції будівель.

Таким чином, дослідження, спрямовані на моделювання параметрів якості будівництва, є актуальними як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки забезпечують підвищення ефективності управління якістю, зниження ризиків браку та оптимізацію трудових і матеріальних ресурсів. Результати таких досліджень сприяють формуванню сучасної методологічної бази управління якістю, що відповідає вимогам сталого, ресурсоефективного та технологічно орієнтованого будівництва.

Аналіз досліджень і публікацій. Сучасні дослідження у сфері забезпечення та моделювання якості будівельних процесів характеризуються активним впровадженням цифрових технологій, орієнтацією на створення інтегрованих систем управління та переходом від описових до прогностичних підходів. Значна частина наукових робіт концентрується на використанні BIM, хмарних сервісів і цифрової аналітики як інструментів підвищення точності, об'єктивності та оперативності контролю якості. Так, у роботах M. Shaban та ін. [1] та L. Nan та ін. [5] системно обґрунтовано роль BIM як ядра цифрових рішень для управління якістю в будівництві. Доведено, що поєднання BIM і хмарних обчислень сприяє створенню безперервних інформаційних потоків, що забезпечують оперативний контроль технологічних параметрів, зменшують вплив людського чинника та підвищують достовірність результатів.

Важливим напрямом сучасних досліджень є інтеграція принципів Total Quality Management (TQM) у будівельних процесах, зокрема в умовах індустріалізованих будівельних систем. Дослідження A.M. Alawag та ін. [2] демонструє, що застосування TQM у комплексі з цифровими інструментами дозволяє формувати сталу систему управління якістю, орієнтовану на попередження дефектів, стандартизацію виробничих процесів та оптимізацію взаємодії між учасниками будівельного проєкту. Автори відзначають, що сучасна система забезпечення якості потребує не тільки технічних рішень, але й організаційної підтримки, інтеграції управлінських підходів та цифрової трансформації.

Публікації F.A. Ghansah, D.J. Edwards [3], A. Sánchez-Hermosell [4] та S. Yoon [8] розкривають потенціал цифрових технологій контролю, зокрема 3D-сканування, автоматизованих методів обробки зображень, візуального аналізу дефектів і цифрових систем моніторингу. Ці роботи засвідчують зростання точності контролю на всіх стадіях будівництва – від підготовчих операцій до завершальних оздоблювальних робіт. Автоматизація виявлення дефектів є особливо цінною в оздоблювальних процесах, включно з малярними роботами, де візуальна оцінка традиційно залежить від суб'єктивності виконавця.

Окрему групу становлять дослідження, присвячені класичним підходам до QA/QC у будівництві. Роботи S.S. Salvi, S.S. Kerkar [6] та M. Abdel-Hamid [11] підтверджують, що традиційні інструменти контролю якості — зокрема сім базових інструментів – залишаються ефективними на початкових етапах аналізу процесів. Проте їх обмеження в умовах сучасної будівельної практики стають очевидними: методи не забезпечують достатньої швидкості обробки даних і не дозволяють проводити комплексне прогнозування ризиків. У роботах наголошується на потребі доповнення класичних методів цифровими системами аналітики.

Дослідження, пов'язані з виявленням руйнувань та управлінням ризиками якості, мають вагомe значення для формування моделей, здатних прогнозувати якість оздоблювальних процесів. У роботах S. Yoon [8] та J. Wang, H. Sun [12] показано, що дефекти під час оздоблювальних робіт часто мають системний характер і пов'язані з відхиленнями у трудомісткості, порушенням технологічних регламентів, неправильним підбором матеріалів або недотриманням технологічних режимів. Це підтверджує необхідність математичної формалізації залежностей між технологічними параметрами та ймовірністю виникнення браку.

Монографія O.M. Лівінського та співавторів [10] та праця O.A. Тугая [7] надають ширший організаційно-технологічний контекст і демонструють важливість побудови комплексних систем управління якістю, що охоплюють як

технологічні, так і організаційні чинники. У роботах підкреслюється, що якість будівельного виробництва значною мірою залежить від оптимізації трудових процесів, ресурсного забезпечення, організації робочого середовища та стандартизації трудових операцій. Ці напрацювання становлять методологічну основу для розроблення моделей якості, орієнтованих на оцінювання трудомісткості малярних та інших оздоблювальних робіт.

Узагальнення даних літератури свідчить, що сучасна наукова думка спрямована на створення комплексних, математично обґрунтованих, цифрово підтриманих моделей управління якістю, які поєднують традиційні методи контролю, цифрові інструменти, BIM-інтеграцію та організаційно-технологічні підходи. У сукупності ці джерела підтверджують актуальність і необхідність формалізації параметрів якості малярних робіт, а також розширюють наукове підґрунтя для подальшої розробки адаптивних моделей прогнозування та оптимізації будівельних процесів.

Метою дослідження є розроблення та обґрунтування науково-методичного підходу до моделювання параметрів якості будівництва на основі кількісної оцінки технологічних, трудових і матеріальних факторів малярних робіт, що здійснюються під час капітального ремонту будівель і споруд.

Основна частина. У процесі капітального ремонту будівель і споруд важливим етапом є забезпечення належної якості оздоблювальних робіт, зокрема малярних операцій, що безпосередньо впливають на довговічність конструкцій та експлуатаційну надійність об'єкта. Для встановлення характерних закономірностей у структурі та обсягах виконуваних малярних робіт було проведено частотний аналіз, результати якого наведено у табл. 1. Зазначений методичний підхід дає змогу виявити повторювані технологічні процеси, визначити їх питому вагу та простежити взаємозв'язки між видами робіт і ресурсною потребою.

Таблиця 1

Вимірники обсягів малярних робіт на об'єктах капітального ремонту

Одиниця виміру робіт	Частота ввидів робіт		Частка ввидів робіт, %	
	звичайна	кумулятивна	звичайна	кумулятивна
100 м ² поверхні фарбування	292	292	62.13	62.13
100 м ² фасаду	118	410	25.11	87.23
100 м ² оздобленої поверхні	21	431	4.47	91.70
100 м ² опоряджувальної поверхні	4	435	0.85	92.55
100 м ² стін без врахування прорізів	2	437	0.43	92.98
100 м ² поверхні покриття	12	449	2.55	95.53
100 м ² пофарбованої поверхні	8	457	1.70	97.23
100 м ² застелення	1	458	0.21	97.45
100 м ² розгорнутої поверхні	5	463	1.06	98.51
100 м ² поверхні, що очищується	1	464	0.21	98.72
100 м ² поверхні	1	465	0.21	98.94
100 м фільонки	4	469	0.85	99.79
100 м стиків	1	470	0.21	100.00
Разом	470		100	

Джерело: розроблено автором

Отримані дані відображають реальну виробничу картину та дозволяють сформуванню обґрунтованої оцінки трудомісткості технологічних операцій. Частотний аналіз є важливою складовою організаційно-технологічного

моделювання, оскільки дає можливість оптимізувати планування робіт, раціонально розподілити виробничі ресурси й визначити критичні точки, що потребують підвищеної уваги під час контролю якості. Запропонований підхід також сприяє удосконаленню процесів управління проектом капітального ремонту, забезпечуючи підвищення ефективності та прогнозованості результатів за рахунок узгодження обсягів і технологічних вимог малярних робіт.

Подані у таблиці 2 результати регресійного моделювання відображають кількісну оцінку впливу матеріалоємності процесу на трудомісткість виконання малярних робіт за різних умов їх здійснення. Аналіз трьох побудованих моделей дає змогу простежити характер цього впливу для сукупності всіх малярних операцій, а також окремо для внутрішніх та фасадних робіт, що забезпечує комплексне уявлення про зміни трудових витрат залежно від обсягу використаних матеріалів.

Таблиця 2

Результати регресійного моделювання впливу факторів на трудомісткість малярних робіт на об'єктах капітального ремонту

Показник, залежність□	Значення показника, аналітичний запис залежності□
Досліджувана сукупність□	Всі малярні роботи, незалежна змінна — кількість матеріалів, (K_{mat}) d.f=468□
Регресійне рівняння□	$T_{роб} = (-0,406 \pm 0,479)_{(t=-0,848, p=0,397)} + (1,512 \pm 0,102)_{(t=14,770, p=0,000)} \cdot K_{mat}$ □
Стандартизоване регресійне рівняння□	$T_{роб} = (0,564 \pm 0,038) \cdot K_{mat}$ □
Достовірність апроксимації, R^2 □	0,316□
Коефіцієнт Фішера□	218,15□
Стандартна помилка□	3,3773□
Досліджувана сукупність□	Малярні роботи всередині приміщень, незалежна змінна — кількість матеріалів, (K_{mat}) d.f=344□
Регресійне рівняння□	$T_{роб} = (-1,469 \pm 0,602)_{(t=-2,441, p=0,015)} + (1,793 \pm 0,131)_{(t=13,641, p=0,000)} \cdot K_{mat}$ □
Стандартизоване регресійне рівняння□	$T_{роб} = (0,592 \pm 0,043) \cdot K_{mat}$ □
Достовірність апроксимації, R^2 □	0,349□
Коефіцієнт Фішера□	186,07□
Стандартна помилка□	3,6525□
Досліджувана сукупність□	Малярні роботи із опорядження фасадів, незалежна змінна — кількість матеріалів, (K_{mat}) d.f=116□
Регресійне рівняння□	$T_{роб} = (2,923 \pm 0,613)_{(t=4,767, p=0,000)} + (0,747 \pm 0,122)_{(t=6,103, p=0,000)} \cdot K_{mat}$ □
Стандартизоване регресійне рівняння□	$T_{роб} = (0,493 \pm 0,081) \cdot K_{mat}$ □
Достовірність апроксимації, R^2 □	0,243□
Коефіцієнт Фішера□	37,257□
Стандартна помилка□	1,9646□

Джерело: розроблено автором

Для загальної вибірки малярних робіт регресійне рівняння демонструє позитивний і статистично значущий зв'язок між кількістю матеріалів та трудомісткістю, що вказує на закономірне зростання трудових витрат зі збільшенням матеріалоемності операцій. Стандартизований коефіцієнт регресії засвідчує середню силу впливу незалежної змінної, тоді як показник достовірності апроксимації (R^2) свідчить, що модель пояснює близько третини варіації результативної ознаки, що є типовим для однофакторних будівельних моделей унаслідок великої кількості зовнішніх неконтрольованих чинників. Високе значення F-критерію підтверджує статистичну надійність моделі та правильність вибору залежності.

Більш виразним є взаємозв'язок між кількістю матеріалів та трудомісткістю у випадку виконання малярних робіт усередині приміщень. Регресійне рівняння характеризується більшим коефіцієнтом при незалежній змінній, що свідчить про підвищену чутливість трудових витрат до матеріалоемності саме в закритому середовищі. Стандартизований коефіцієнт тут вищий, ніж у першій моделі, а коефіцієнт детермінації досягає максимального значення серед трьох випадків. Це дає підстави стверджувати, що умови внутрішніх робіт є більш стабільними, а трудові витрати – менш варіативними, що підсилює точність моделювання та пояснювальну здатність побудованого рівняння. Зменшення стандартної помилки також підтверджує підвищену прогностичність моделі.

Суттєво інший характер має модель, що описує малярні роботи при опорядженні фасадів. Незважаючи на те, що коефіцієнт регресії при кількості матеріалів тут є найбільшим, що вказує на високу залежність трудових витрат від матеріалоемності саме у фасадних роботах, показник R^2 є найнижчим серед усіх трьох моделей. Це означає, що частка поясненої варіації трудомісткості є відносно невеликою, що цілком відповідає характеру фасадних робіт, які відзначаються високою нерівномірністю умов, різноманітністю впливів зовнішнього середовища та значною часткою додаткових коригувальних операцій. Саме тому, попри статистичну значущість коефіцієнтів, модель демонструє нижчу однорідність та прогнозу точність. Відносно невисоке значення стандартизованого коефіцієнта також підтверджує помірну силу зв'язку.

Узагальнюючи отримані результати, можна стверджувати, що кількість використаних матеріалів є стабільним і статистично значущим чинником, який впливає на трудомісткість малярних робіт у всіх типах процесів. Проте інтенсивність цього впливу та ступінь варіативності трудових витрат істотно змінюються залежно від типу робіт. Найбільш передбачуваною та структурованою є модель внутрішніх робіт, тоді як фасадні операції характеризуються найбільшою чутливістю до матеріалоемності, але водночас і найбільшою нелінійністю та варіативністю, що обмежує точність прогнозування за лінійною одновимірною моделлю. Усі три моделі підтверджують доцільність використання факторного підходу для оцінювання трудомісткості та свідчать про потенціал удосконалення нормування та планування ремонтних робіт на підставі регресійного аналізу.

На рис.1 відображено функціональний зв'язок між витратами праці на поліпшене фарбування 100 м² поверхонь усередині приміщень (люд.-год.) та мірою прийняття трудомісткості будівельних робіт, що інтерпретується як інтегральний показник відповідальності робітників та імовірності погіршення якості малярних операцій. На графіку зображено три криві – для лівого зовнішнього, правого

зовнішнього та внутрішнього інтервального розподілу, а також горизонтальну лінію на рівні 0,833, яка використовується як опорний поріг прийнятності.

Загальний характер кривих має виражений піковий профіль: при незначних витратах праці значення міри прийняття є низьким, однак у діапазоні близькому до оптимальних норм трудомісткості криві різко зростають і досягають свого максимуму ($\approx 0,95-0,96$). Ця зона відповідає №1 зоні прийнятної відповідальності робітників, у якій якість робіт є найбільш стабільною, а трудовитрати – оптимально збалансованими. Саме в околі пікових значень спостерігається найбільша узгодженість між фактичними трудовими зусиллями й технологічними вимогами до малярних робіт.

Праворуч та ліворуч від піку криві поступово знижуються. На рисунку виділено дві критичні області. Перша – №2 зона високого ризику погіршення якості робіт на лівому схилі кривої – відповідає недостатнім витратам праці, коли прискорене виконання технологічних процесів призводить до підвищеної імовірності браку. У цій зоні низькі витрати часу прямо корелюють із недотриманням технологічних пауз, недостатнім опрацюванням поверхні та зниженням відповідальності виконавців. Друга – №3 зона високого ризику на правому схилі кривої – характеризується надмірною трудомісткістю, яка зазвичай виникає внаслідок ускладнених умов, неефективної організації робіт або повторних операцій. Значне перевищення трудових витрат свідчить про втрату технологічного ритму, зниження продуктивності та підвищення ймовірності помилок, що також негативно позначається на якості оздоблювальних робіт.

Між зазначеними зонами розташована №2 зона зниженої відповідальності робітників, де значення міри прийняття трудомісткості коливається в межах, близьких до граничного порогу 0,833. У цій області процеси не є критичними, проте технологічна дисципліна послаблюється, що може вимагати додаткового контролю та організаційних коригувань.

Узагальнюючи, рис. 1 демонструє, що якість малярних робіт має чітку залежність від рівня трудовитрат: як надмірне їх зменшення, так і збільшення підвищують ризики браку, тоді як оптимальний інтервал навколо піку кривої є ключовою зоною стабільного та якісного виконання робіт. Це дозволяє застосовувати графік як інструмент оцінювання прийнятності фактичної трудомісткості, виявлення ризикових відхилень та оптимізації технологічних рішень у процесі капітального ремонту.

Аналіз дає змогу встановити, що трудомісткість малярних робіт має нелінійний характер впливу на якість їх виконання, що проявляється у формуванні трьох функціонально відмінних зон – критично низьких витрат, оптимального інтервалу та надмірної трудомісткості. У центральній, найбільш стабільній зоні формується максимальна міра прийняття технологічної трудомісткості, що відповідає оптимальному балансу між темпами виконання робіт і технологічною дисципліною. Натомість відхилення у бік зменшення або збільшення фактичних трудових витрат супроводжуються різким зростанням ризику зниження якості, що свідчить про підвищену чутливість малярних процесів до недотримання регламентованих технологічних параметрів. Таким чином, рисунок підтверджує важливість підтримання трудомісткості у визначеному нормативному діапазоні та демонструє необхідність системного контролю за відхиленнями, які можуть виступати індикаторами потенційного погіршення якості оздоблювальних робіт.

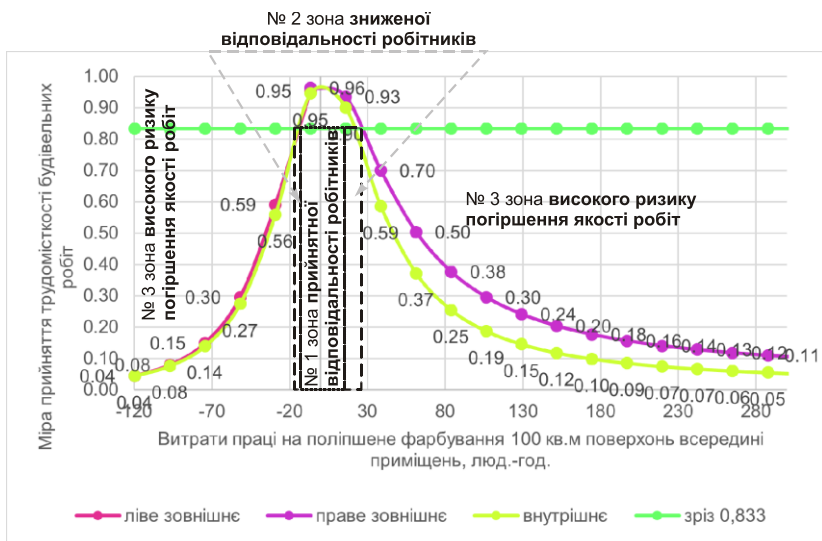


Рис. 1. Нечітке число 2 типу для обґрунтування рівня витрат праці, необхідних для дотримання вимог якості до поліпшеного фарбування всередині приміщень
Джерело: розроблено автором

Висновки. Проведене регресійне моделювання продемонструвало, що кількість використаних матеріалів (Кмат) є стабільним і статистично значущим чинником, який визначає трудомісткість малярних робіт у процесах капітального ремонту. У всіх досліджуваних вибірках виявлено позитивну кореляцію між матеріалоємністю та збільшенням трудових витрат, що підтверджує закономірність: із ростом обсягу матеріалів зростає й складність та тривалість виконання операцій.

Найбільш передбачуваним виявився зв'язок у моделі для внутрішніх малярних робіт, де коефіцієнт детермінації досяг найвищого значення. Це свідчить про більш однорідні умови виконання таких робіт, меншу варіативність факторів зовнішнього впливу та підвищену точність прогнозування трудомісткості. Водночас фасадні роботи, попри найбільший приріст трудових витрат на одиницю збільшення матеріалів, характеризуються значно нижчим рівнем пояснювальної здатності моделі. Це зумовлено складними експлуатаційними та кліматичними умовами, які суттєво впливають на тривалість і технологічну послідовність робіт, роблячи їх менш прогнозованими в лінійній однофакторній моделі.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що отримані регресійні залежності дають можливість обґрунтовано прогнозувати трудомісткість малярних процесів, вдосконалювати планування ресурсів, формувати раціональні норми трудових витрат та оптимізувати організаційно-технологічні рішення під час капітального ремонту. Чітко виражена залежність між Кмат і Троб підтверджує доцільність використання кількості матеріалів як ключового індикатора у практиці нормування, контролю та управління якістю малярних робіт.

Список літератури:

1. Shaban M., Al-Hassan B., Mohamad A. S. Digital transformation of quality management in the construction industry during the execution phase by integration of building information modeling (BIM) and cloud computing. *Building Engineering*, 2024, vol. 2, no. 1, p. 1132. <https://doi.org/10.59400/be.v2i1.1132>
2. Alawag A.M., Alqahtani F.K., Alaloul W.S., Liew M.S., Baarimah A.O., Al-Mekhlafi A.B.A., Sherif M.A.S. Developing framework for implementing Total Quality Management (TQM) in sustainable industrialized building system (IBS) in construction projects. *Sustainability*, 2024, vol. 16, no. 23, 10399. <https://doi.org/10.3390/su162310399>
3. Ghansah F.A., Edwards D.J. Digital technologies for quality assurance in the construction industry: current trend and future research directions towards Industry 4.0. *Buildings*, 2024, vol. 14, no. 3, 844. <https://doi.org/10.3390/buildings14030844>
4. Sánchez-Hermosell A., Merchán P. Automated quality control of building surfaces from 3D point clouds. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 2026. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-10-2025-0256>
5. Han L., Bian X., Gu S., Liu C., Pan W., Zhao X. Research on construction quality management based on BIM. *International Journal of Frontiers in Engineering Technology*, 2022, vol. 4, no. 2, pp. 56–62. <https://doi.org/10.25236/IJFET.2022.040209>
6. Salvi S.S., Kerkar S.S. Quality assurance and quality control for project effectiveness in construction and management. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2020, vol. 9, no. 2. <https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS020028>
7. Tugai O.A. Adaptation of management organization structures to changes in activities of a principal contractor in the process of construction organization based on engineering methods. *Organizational and technological, economic quality control aspects in the construction industry*: collective monograph. Lviv-Toruń: Liha-Pres, 2019. Pp. 1-23. <https://doi.org/10.36059/978-966-397-166-7/1-23>
8. Yoon S., Son S., Kim S. Design, construction, and curing integrated management of defects in finishing works of apartment buildings. *Sustainability*, 2021, vol. 13, no. 10, 5382. <https://doi.org/10.3390/su13105382>
9. Araya-Santelices P., Moraga P., Atencio E., Lozano-Galant F., Lozano-Galant J. A. BIM-GIS-based approach for quality management aligned with ISO 9001. *Applied Sciences*, 2025, vol. 15, no. 11, 6107. <https://doi.org/10.3390/app15116107>
10. Лівінський О.М., Ключев В.В., Савенко В.І. та ін. Менеджмент якості в будівництві та виробничі організаційні системи: монографія. Київ: Центр учбової літератури, 2018. 230 с.
11. Abdel-Hamid M., Abdelhaleem H. M. Improving the construction industry quality using the seven basic quality control tools. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 2019, vol. 7, pp. 412–420. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2019.76028>
12. Wang J., Sun H. Research on quality control and safety management strategies in construction engineering construction. *Engineering Technology Trends*, 2024, vol. 2, no 1. <https://doi.org/10.37155/2972-483X-0201-5>

Oleksandr FILIPPOV

Modeling of construction quality parameters on the example of painting work

The article considers the scientific and practical problem of modeling construction quality parameters on the example of painting work as one of the key components of the

finishing cycle during the overhaul of buildings and structures. The quality of painting work largely determines not only the aesthetic characteristics of surfaces, but also the durability, operational stability and protective properties of structures, which necessitates the formalization of factors that affect the final result. The paper substantiates the relevance of using regression and analytical modeling to assess technological labor intensity and determine the relationships between material consumption, labor costs and technological quality parameters. The applied approaches made it possible to identify characteristic patterns of labor intensity changes depending on the amount of materials used in different production conditions – during internal, external and facade painting work.

Based on statistical processing and modeling, regression relationships were constructed that reflect the degree of influence of key technological parameters on the probability of quality deviations. It was proven that the labor intensity of the process is nonlinear and forms three distinct risk zones: the area of insufficient labor costs, which is accompanied by an increased probability of defects; the optimal interval of labor intensity, in which maximum stability of technological operations is ensured; and the area of excessive labor costs, which indicates a deterioration in the organization of work and a potential decrease in quality. For each group of painting works, the level of influence of material intensity on the formation of labor loads was determined and it was shown that internal works are characterized by the most predictable parameters, while facade works are most sensitive to the influence of external factors.

The results of the study are of important practical importance, since they form methodological prerequisites for creating effective models for predicting the quality of finishing processes and for improving the system of labor cost rationing. The proposed approach helps to increase the accuracy of resource planning, identify critical deviations, optimize organizational and technological solutions and ensure a sustainable level of quality during painting work in construction. The presented results can be used in the practice of designing, performing and monitoring construction work, as well as serve as the basis for the further development of integrated digital quality management models in the construction industry.

Keywords: *quality modeling; construction quality; painting work; labor intensity; material intensity; finishing defects; regression analysis; technological process parameters; organizational and technological support; quality control; risk management; organizational and technological processes; operational reliability; construction organization.; overhaul; digital control technologies.*

Дата надходження статті: 23.01.2026

Дата прийняття статті: 25.02.2026