

УДК 69.05:69.003.13:624.05

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.241225.130.1216

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ЯК ОСНОВИ ОПТИМІЗАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ СПОРУДЖЕННЯ БУДІВЕЛЬ

МАТЮШЕНКО С. Ю.^{1*}, асп.,

СОКОЛОВ І. А.², докт. техн. наук, проф.

^{1*} Кафедра організації і управління будівництвом, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.+38 (098) 206-68-91, e-mail: sergov.matyushenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4434-6006

² Кафедра організації і управління будівництвом, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.+38 (067) 628 77 77, e-mail: sokolov.igor@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

Анотація. Постановка проблеми. Сучасне будівництво стикається з низкою глобальних викликів, серед яких особливе місце посідають зростаючі вимоги до енергоефективності, раціонального використання ресурсів та підвищення продуктивності праці. Для України ці завдання набувають особливої актуальності у контексті необхідності відновлення та модернізації будівельного фонду, що потребує пошуку нових підходів до оптимізації організаційно-технологічних рішень спорудження будівель. Важливим напрямом такого удосконалення є зменшення витрат енергоресурсів у поєднанні з оптимізацією трудових ресурсів, оскільки саме ці фактори безпосередньо впливають на загальну ефективність, економічність та екологічність реалізації будівельних проєктів. Одним із перспективних способів досягнення поставлених цілей є аналіз трудомісткості основних будівельних процесів, що дозволяє виявити залежності між конструктивними та технологічними рішеннями і фактичними витратами праці. Саме у цьому контексті було проведено дане дослідження, яке спрямоване на визначення закономірностей формування трудомісткості будівництва та обґрунтування шляхів оптимізації організаційно-технологічних рішень із урахуванням мінімізації витрат енергоресурсів. **Мета статті.** Дослідження взаємозв'язку між трудомісткістю виконання основних етапів будівництва та організаційно-технологічними рішеннями, а також виявлення закономірностей, які дозволяють оптимізувати процес спорудження будівель із урахуванням мінімізації витрат енергоресурсів. **Висновок.** За результатами проведеного дослідження виявлені важливі закономірності та фактори, що впливають на трудомісткість будівельних процесів, а також виявлено закономірності між видами робіт та трудомісткістю та сформовано пропозиції, спрямовані на підвищення ефективності управління будівельним виробництвом. Отримані результати свідчать про можливість прогнозування трудових витрат на етапі проєктування в залежності від обраних будівельних рішень та технології виконання робіт. Це створює підґрунтя для ефективної оптимізації організаційно-технологічних рішень спорудження будівель із урахуванням мінімізації витрат енергоресурсів. Таким чином, результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення календарного планування, визначення потреби у трудових ресурсах та формування стратегій оптимізації будівельних процесів.

Ключові слова: *трудомісткість; будівельні процеси; організаційно-технологічні рішення; оптимізація; енергоефективність; витрати енергоресурсів; прогнозування; конструктивні рішення; управління будівельним виробництвом; планування ресурсів*

RESEARCH ON THE LABOR INTENSITY OF CONSTRUCTION PROCESSES AS THE BASIS FOR OPTIMIZING ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR BUILDING CONSTRUCTION

MATIUSHENKO S.Yu.^{1*}, Postgrad. Stud.,

SOKOLOV I.A.², Dr. Sc. (Tech.), Prof.

^{1*} Department of Organisation and Management in Construction, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (098) 206-68-91, e-mail: sergov.matyushenko@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-4434-6006

² Department of Organisation and Management in Construction, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI “Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (067) 628-77-77, e-mail: sokolov.igor@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

Abstract. Statement of the problem. Modern construction faces a number of global challenges, among which growing demands for energy efficiency, rational use of resources, and increased labor productivity occupy a special place. For Ukraine, these tasks are particularly relevant in the context of the need to restore and modernize the building stock, which requires the search for new approaches to optimizing organizational and technological solutions for the construction of buildings. An important direction for such improvement is the reduction of energy consumption in combination with the optimization of labor resources, since these factors directly affect the overall efficiency, cost-effectiveness, and environmental friendliness of construction projects. One of the promising ways to achieve these goals is to analyze the labor intensity of the main construction processes, which allows identifying the relationships between design and technological solutions and actual labor costs. It is in this context that this study was conducted, which aims to identify the patterns of labor intensity in construction and justify ways to optimize organizational and technological solutions, taking into account the minimization of energy consumption. **Purpose of the article.** To study the relationship between the labor intensity of the main stages of construction and organizational and technological solutions, as well as to identify patterns that allow optimizing the process of building construction, taking into account the minimization of energy costs. **Conclusion.** The results of the study revealed important patterns and factors that affect the labor intensity of construction processes, as well as patterns between types of work and labor intensity, and formed proposals aimed at improving the efficiency of construction management. The results obtained indicate the possibility of forecasting labor costs at the design stage depending on the selected construction solutions and work execution technology. This creates a basis for the effective optimization of organizational and technological solutions for the construction of buildings, taking into account the minimization of energy costs. Thus, the results of the study can be used to improve scheduling, determine labor resource requirements, and develop strategies for optimizing construction processes.

Keywords: labor intensity; construction processes; organizational and technological solutions; optimization; energy efficiency; energy consumption; forecasting; design solutions; construction management; resource planning

Постановка проблеми. Сучасна будівельна галузь перебуває під впливом численних глобальних викликів, серед яких особливої ваги набувають підвищені вимоги до енергоефективності, раціонального використання матеріальних та трудових ресурсів, а також зростання продуктивності праці. В українських умовах ці питання є надзвичайно актуальними через необхідність відновлення та оновлення будівельного фонду, що потребує впровадження нових підходів до вибору й удосконалення організаційно-технологічних рішень у процесі зведення будівель. Ключовим напрямом такої оптимізації є скорочення енергетичних витрат у поєднанні з ефективним аналізом та використанням трудовитрат, адже саме ці чинники визначають рівень економічності, ефективності та екологічності реалізації будівельних проєктів. Одним із дієвих інструментів досягнення зазначених завдань виступає аналіз трудомісткості будівельних процесів, що відкриває можливості для встановлення залежностей між конструктивно-технологічними рішеннями та фактичними трудовими витратами. У цьому контексті проведено дослідження спрямоване на виявлення закономірностей формування трудомісткості та

обґрунтування підходів до оптимізації організаційно-технологічних рішень спорудження будівель із врахуванням мінімізації витрат енергоресурсів.

Метою статті є дослідження взаємозв'язку між трудомісткістю виконання основних етапів будівництва та організаційно-технологічними рішеннями, а також виявлення закономірностей, які дозволяють оптимізувати процес спорудження будівель із урахуванням мінімізації витрат енергоресурсів. Для досягнення цієї мети здійснено аналіз трудомісткості основних видів робіт (земляних, фундаментних, стінових, покрівельних, фасадних та монтажу віконних блоків) на прикладі фактично реалізованих об'єктів різних функціональних типів. Особливу увагу приділено визначенню факторів, що найбільш суттєво впливають на формування трудових витрат, зокрема геометричних характеристик будівель та конструктивних рішень. Крім того, у роботі проведено порівняння різних технологічних підходів – монолітних та збірних фундаментів, цегляних та газобетонних стін, плоских та скатних покрівель, «мокрих» та вентильованих фасадів – з точки зору їх трудомісткості та організаційно-

технологічних особливостей. Завершальним етапом дослідження стало формування практичних висновків щодо доцільності застосування окремих конструктивно-технологічних рішень у сучасному будівництві з урахуванням мінімізації трудових і енергетичних витрат.

Методи дослідження. Методологічною основою дослідження стала база даних, сформована на основі фактично реалізованих будівельних об'єктів трьох функціональних типів – амбулаторій первинної медичної допомоги, малих групових будинків для дітей, позбавлених батьківського піклування, та дошкільних навчальних закладів. Сукупність восьми об'єктів дозволила забезпечити репрезентативність вибірки та врахувати різноманітність архітектурно-планувальних і конструктивних рішень.

Для оцінки трудомісткості будівельних процесів застосовувався метод визначення питомих показників, тобто розрахунок трудових витрат у люд.-днях на одиницю обсягу виконаних робіт (1 м³ земляних робіт чи фундаментів, 1 м² стін, покрівлі, фасадів або встановлення віконних блоків). Проведено нормалізацію основних кількісних змінних і побудовано матрицю розподілу параметрів по об'єктах.

Аналіз публікацій. Дослідження трудомісткості будівельних процесів та оптимізації організаційно-технологічних рішень охоплює широкий спектр аспектів, пов'язаних із підвищенням продуктивності праці, раціональним використанням ресурсів та впровадженням енергоефективних технологій. У науковій літературі особливу увагу приділено методам прогнозування трудових витрат і пошуку шляхів їх оптимізації в умовах сучасних викликів будівельної галузі. У статті «Duration and Labor Resource Optimization for Construction Projects-A Conditional-Value-at-Risk-Based Analysis» [1] автори досліджують оптимізацію трудових ресурсів у висотному будівництві за допомогою методу Takt-time planning (метод організації будівельних процесів, що базується на принципі ритмічного

виконання робіт у повторюваних інтервалах часу (тактів), завдяки чому забезпечується узгодженість дій різних бригад і скорочення тривалості проєкту) у поєднанні з симуляційним моделюванням та підходами VaR/CVaR (кількісні показники оцінки ризику, що дозволяють визначити потенційні втрати або відхилення у виконанні робіт. У будівництві ці методи застосовуються для врахування ймовірності затримок і вибору оптимального сценарію організації виробництва) для оцінки ризиків. На основі 1672 спостережень показано, що навіть без додаткових ресурсів можна скоротити тривалість проєкту на 20,2 % і трудові витрати на 2,1 %. Дослідження демонструє ефективність інтеграції цифрового моделювання й ризик-менеджменту для підвищення продуктивності будівельних процесів[1].

У статті «Mitigating the Energy Consumption and the Carbon Emission in the Building Structures by Optimization of the Construction Processes» автори розглядають проблему високого рівня енергоспоживання та викидів CO₂ у будівельній галузі й пропонують підхід до їх зменшення шляхом оптимізації будівельних процесів. Особливу увагу приділено застосуванню lean-технік (Value Stream Mapping, Just-in-Time, Total Productive Maintenance, Continuous Flow [2]) у поєднанні зі структурною оптимізацією для підвищення ефективності виробництва, транспортування й монтажу будівельних конструкцій. Автори аналізують енергетичні витрати на прикладі різних матеріалів і процесів, зокрема виробництва бетону, сталі, транспортування та обслуговування, а також показують, що «мокрі» традиційні методи будівництва створюють значні енергетичні втрати. Водночас lean-методи дозволяють виявити «нецінні» операції та мінімізувати простой і надмірне споживання енергії [2].

Результатом роботи стало формування уніфікованого алгоритму, який поєднує структурну оптимізацію, lean-менеджмент і методологію оцінки життєвого циклу (LCA). Запропонований підхід дозволяє істотно знизити енергоспоживання та викиди CO₂ на

етапі будівництва, підвищуючи загальну сталість і конкурентоспроможність будівельних проєктів [2].

Виклад основного матеріалу.

Дослідження ґрунтується на аналізі восьми будівельних об'єктів соціальної інфраструктури, серед яких три амбулаторії первинної медичної допомоги, три малі групові будинки для дітей, позбавлених батьківського піклування, та два дошкільні навчальні заклади. Вибір саме цих об'єктів обумовлений їх соціальною значущістю, типовими архітектурно-планувальними характеристиками та різноманітністю конструктивно-технологічних рішень, що

дозволяє комплексно оцінити трудомісткість будівельних процесів. До складу вибірки увійшли наступні об'єкти розташовані у Дніпропетровській області: амбулаторія в с. Коломійці (рис. 1), амбулаторія в с. Могилів (рис. 2), амбулаторія в с. Девладове (рис. 3), груповий будинок у с. Петрівка (рис. 4), груповий будинок у с. Вакулове (рис. 5), груповий будинок у м. Кривий Ріг (рис. 6), дошкільний навчальний заклад на 80 місць у с. Старі Кодаци (рис. 7) та дошкільний навчальний заклад на 115 місць у м. Покров (рис. 8).



*Рис. 1. Амбулаторія на 1 лікаря з житлом
(с. Коломійці, Дніпропетровська обл.)*



*Рис. 2. Амбулаторія на 2 лікаря без житла
(с. Могилів, Дніпропетровська обл.)*



*Рис. 3. Амбулаторія на 1 лікаря з житлом
(с. Девладове, Дніпропетровська обл.)*



*Рис. 4. Груповий будинок
(с. Петрівка, Дніпропетровська обл.)*



*Рис. 5. Груповий будинок
(с. Вакулове, Дніпропетровська обл.)*



*Рис. 6. Груповий будинок
(м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл.)*



Рис. 7. ДНЗ на 80 місць
(с. Старі Кодаци, Дніпропетровська обл.)



Рис. 8. ДНЗ на 115 місць
(м. Покров, Дніпропетровська обл.)

Проведення кореляційного аналізу.

По-перше, було визначено коефіцієнти кореляції Пірсона між загальною трудомісткістю робіт та нормованими геометричними характеристиками будівель [3]. Виявлено високий рівень взаємозв'язку: для площі забудови $r = 0,962$, для об'єму будівлі $r = 0,937$, для умовної поверховості $r = 0,877$. Це підтверджує, що геометричні параметри мають суттєвий вплив на трудові витрати й можуть використовуватися як прогнозні змінні.

По-друге, з урахуванням отриманих кореляційних зв'язків здійснено підбір адекватних регресійних моделей. Найкращими виявилися: експоненційна залежність трудомісткості від нормованої поверховості, лінійна модель для площі забудови та функція із квадратним коренем для об'єму будівлі [4]. Значення коефіцієнтів детермінації ($R^2 = 0,83\text{--}0,93$) засвідчили, що вибрані функції адекватно відображають реальні тенденції та можуть застосовуватися для прогнозування.

По-третє, проведено аналіз частотних розподілів організаційно-технічних ознак. Вибірка виявилася нерівномірною: більшість становлять об'єкти на суглинкових ґрунтах, одно- та двоповерхові будівлі з плоскими покрівлями, а також громадські споруди з «мокрим» фасадом і металопластиковими вікнами. Це означає, що саме такі параметри добре відображені у дослідженні, тоді як інші характеристики – наприклад, скатні покрівлі, вентилявані фасади чи альтернативні типи заповнення прорізів – трапляються поодинокі і представлені обмежено. Відповідно, результати аналізу є найбільш

репрезентативними для типових рішень, тоді як для менш поширених варіантів вони мають ілюстративний характер.

У підсумку виконаний статистичний аналіз дозволив структурувати вихідні дані, визначити ключові фактори та підібрати адекватні математичні моделі для прогнозування трудомісткості. Частотний і критерійний аналізи доповнили картину, показавши репрезентативність вибірки та потенційні обмеження при подальшій інтерпретації результатів.

Збір та систематизація даних про трудомісткість. На цьому етапі дослідження здійснювався збір вихідної інформації, необхідної для кількісного аналізу трудових витрат у будівельному процесі. Основна увага була зосереджена на визначенні трудомісткості тих видів робіт, які формують основу зведення будівлі та найбільшою мірою відображають вплив конструктивно-технологічних рішень. До них належать: земляні роботи, фундаментні роботи, зведення стін, улаштування покрівлі, монтаж віконних блоків та фасадні роботи. Відібрані види робіт були визначені як найважливіші за результатами експертного оцінювання, проведеного робочою групою фахівців у галузі будівництва. Для забезпечення об'єктивності відбору застосовано метод рангових матриць попарних порівнянь факторів, що дозволило виділити найбільш вагомі процеси для подальшого аналізу. Для кожного з відібраних об'єктів ці дані отримано на основі проектно-кошторисної та виконавчої документації, що забезпечило достовірність і порівнюваність результатів (табл. 1).

Після узагальнення фактичних даних щодо загальної трудомісткості виконання будівельно-монтажних робіт на об'єктах різного функціонального призначення проведено розрахунки питомих трудовитрат

– тобто, трудомісткість на одиницю обсягу виконаної роботи (наприклад, люд.-дні на 1 м² покрівлі, фасаду, або 1 м³ земляних робіт) (табл. 2).

Таблиця 1

Фрагмент таблиці трудомісткості основних видів робіт по перших чотирьох об'єктах нового будівництва

№ п/п	Вид робіт	Об'єкт 1 – Трудомісткість (люд.-днів)	Об'єм робіт	Об'єкт 2 (люд.- днів)	Об'єм робіт	Об'єкт 3 (люд.- днів)	Об'єм робіт	Об'єкт 4 (люд.- днів)	Об'єм робіт
1	Земляні роботи	98,41	1503 м ³	1,26	669 м ³	64,97	1033 м ³	95,29	1843,2 м ³
2	Фундаментні роботи	80,24	122,908 м ³	36,86	79,54 м ³	62,497	121,543 м ³	99,65	178 м ³
3	Зведення стін	194	175,9 м ³	133	120 м ³	194	175 м ³	169,36	153,76 м ³
4	Покрівельні роботи	136,435	384 м ²	109,42	281 м ²	136	384 м ²	157	336 м ²
5	Установка віконних блоків, вітражів	6,03	60,6 м ²	4,12	42,6 м ²	4,91	45,36 м ²	6,9	48,1 м ²
6	Фасади	197	330 м ²	154,75	248 м ²	116,12	422 м ²	256	422,5 м ²

Таблиця 2

Питомі показники трудомісткості будівельних робіт (люд.-дні на одиницю обсягу)

№	Назва об'єкта	Земляні роботи (люд.- днів/м ³)	Фундаментні роботи (люд.- днів/м ³)	Зведення стін (люд.- днів/м ³)	Покрівельні роботи (люд.- днів/м ²)	Установка вік. (люд.- днів/м ²)	Фасади (люд.- днів/м ²)
1	Амбулаторія в с. Коломійці	0,0654	0,652	1,102	0,355	0,0995	0,596
2	Амбулаторія в с. Могилів	0,00188	0,463	1,108	0,389	0,0967	0,623
3	Амбулаторія в с. Девладове	0,0628	0,5142	1,1085	0,354	0,108	0,275
4	Груповий будинок в с. Петрівка	0,0516	0,559	1,101	0,467	0,143	0,605
5	Груповий будинок в с. Вакулове	0,0505	0,5401	1,097	0,4404	0,124	0,597
6	Груповий будинок в м. Кривий Ріг,	0,0095	0,7373	1,106	0,591	0,170	0,599
7	ДНЗ на 80 місць (с. Старі Кодаки,	0,0534	1,493	0,643	0,37	0,115	0,313
8	ДНЗ на 115 місць (м. Покров	0,0633	0,7535	0,739	0,42	0,113	0,311

Наведені у таблиці 2 питомі показники відображають фактичні трудові витрати за основними видами будівельних робіт у

розрахунку на одиницю обсягу (люд.-дні на 1 м² чи 1 м³) для кожного з досліджуваних об'єктів. Такий підхід дозволяє зіставляти

між собою різні будівлі незалежно від їхніх геометричних характеристик та загального обсягу робіт, а також робити висновки щодо впливу конструктивно-технологічних рішень на трудомісткість. Попередній аналіз свідчить, що частина процесів характеризується відносною сталістю трудових витрат (наприклад, земляні роботи та встановлення віконних блоків), тоді як для інших (фундаментні, стінові, покрівельні та фасадні роботи) спостерігаються суттєві відхилення.

Результати досліджень. Аналіз результатів показує, що виконання земляних робіт на досліджуваних об'єктах відзначається відносною стабільністю трудових витрат: середні значення залишаються близькими та не демонструють різних відхилень. Це обумовлено уніфікованістю технології, яка залежить переважно від обсягів розробки ґрунту та його переміщення, тоді як архітектурно-конструктивні характеристики будівель не мають вирішального значення. Водночас зафіксовані випадки, коли показники виявилися нижчими від середніх. Зокрема, під час спорудження амбулаторії в с. Могилів та групового будинку в м. Кривий Ріг значну частину земляних робіт виконували субпідрядні організації із залученням екскаваторів і транспортних засобів, орендованих разом із обслуговчим персоналом. У кошторисах генпідрядника було відображено лише витрати на допоміжний персонал, що призвело до формального заниження трудомісткості у порівнянні з іншими об'єктами.

Подібний підхід має як переваги, так і недоліки. З економічної точки зору він дозволяє зменшити витрати на утримання власної техніки та механізаторів, а також прискорити темпи виконання завдяки спеціалізації субпідрядників. Проте при цьому втрачається точність відображення реальних трудових витрат і зростає залежність від сторонніх організацій.

Отже, відмінності у показниках трудомісткості земляних робіт пояснюються насамперед організаційними чинниками, а не особливостями конструктивних рішень

будівель. Це підкреслює важливість комплексного аналізу трудових витрат, який має враховувати як кількісні дані, так і умови організації виробництва.

На відміну від земляних робіт, трудомісткість виконання фундаментних робіт виявила істотні коливання між різними об'єктами. Такі відмінності пояснюються не лише архітектурно-конструктивними рішеннями, а й особливостями організації будівництва.

У випадку амбулаторій у селах Могилів та Девладове нижчі показники пояснюються тим, що підйомні механізми та транспортні засоби (зокрема кран на гусеничному ході та вантажний автомобіль) були залучені в оренду. У результаті частина робіт фактично виконувалася субпідрядними організаціями, тоді як у кошторисах генпідрядника відображались лише допоміжні витрати. Це призвело до формального зменшення трудових показників у порівнянні з іншими об'єктами.

Протилежна ситуація спостерігалася у груповому будинку в м. Кривий Ріг та ДНЗ у м. Покров, де більшу частку становили роботи з бетонною підготовкою. На відміну від монтажу готових блоків, цей процес потребує приготування, укладання та витримування суміші, що суттєво підвищує трудомісткість.

Найбільш трудомістким виявився об'єкт у с. Старі Кодаки, де фундамент реалізовано пальовим способом. Заглиблення понад 400 залізобетонних паль довжиною більше 20 м у ґрунтах другої групи та вирубування арматурних каркасів призвели до істотного зростання витрат праці.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що трудомісткість фундаментних робіт формується поєднанням двох чинників — типу застосованих конструктивних рішень (стрічкові, пальові, збірні блоки чи бетонна підготовка) та організаційних умов (використання орендованої техніки чи власних ресурсів). Використання готових фундаментних блоків у більшості випадків дозволяє скоротити витрати праці й прискорити темпи будівництва, проте таке рішення супроводжується низкою

обмежень, пов'язаних із логістикою, потребою у вантажопідіймальній техніці та обмеженням гнучкості проєктних рішень. Тому вибір між збірними та монолітними фундаментами має здійснюватися з урахуванням специфіки об'єкта та геологічних умов будівельного майданчика.

Аналіз трудових витрат на зведення стін показав, що для більшості об'єктів вони залишаються у межах середніх значень і не мають суттєвих коливань. Виняток становлять два дошкільні навчальні заклади – у Старих Кодаках та м. Покрові, де трудомісткість виявилася нижчою за рахунок специфіки конструктивних рішень. Якщо в амбулаторіях та групових будинках застосовувалася традиційна цегляна кладка з керамічної цегли при поверховості до 4 метрів, то у дитячих закладах було обрано іншу модель – монолітно-каркасну, де стіни виконані з газобетонних блоків UDK PowerBlock 600 (зовнішні – товщиною 400 мм, внутрішні – 300 мм). У таких будівлях несучу функцію виконують колони та перекриття, а стіни мають огорожувальне й теплоізоляційне призначення, що дозволяє використовувати легші матеріали.

Газоблоки забезпечують економію трудових ресурсів, адже один блок замінює кілька цеглин, має меншу масу та точні розміри, що полегшує процес мурування й прискорює виконання робіт. Натомість цегляна кладка є значно більш трудомісткою через більший обсяг операцій і потребу в ретельному контролі якості, хоча саме цегла гарантує вищу міцність, довговічність і здатність виконувати несучі функції.

Таким чином, виявлені відмінності у трудомісткості стінових робіт пояснюються двома чинниками: по-перше, різницею в матеріалі (цегла або газоблок), а по-друге, конструктивною схемою будівлі (традиційна або каркасна). У каркасних будівлях трудові витрати на стіни нижчі, оскільки вони не є несучими і можуть бути виконані з матеріалів, що простіші в укладанні.

Розраховані значення трудомісткості покрівельних робіт свідчать про відносну стабільність показників на більшості об'єктів, де вони коливаються у межах середніх величин. Винятком став груповий будинок у м. Кривий Ріг, де трудові витрати досягли 0,591 люд.-днів/м², що суттєво перевищує середній рівень інших будівель (0,35–0,47 люд.-днів/м²).

Основна причина цього полягає у різних конструктивних підходах до улаштування покрівлі. На більшості будівель було застосовано традиційну пласку рулонну систему з руберойду з утепленням плитами екструдованого пінополістиролу, похилоутворюючим шаром із пінополістиролбетону та армованою стяжкою. Ця технологія відзначається відпрацьованістю, простотою та меншими витратами праці.

Натомість у груповому будинку в Кривому Розі реалізовано двоскатний дах із профільованого листа ПК-44, що потребувало значно більшого обсягу робіт. Виконання включало виготовлення та монтаж кроквяної системи, укладання брусів, улаштування контррейки, гідроізоляції та монтаж покрівельного покриття. Окрім цього, процес ускладнювався наявністю великої площі похилих площин і виступаючих елементів, що вимагало додаткових трудових витрат і підвищених заходів безпеки.

Таким чином, результати показують, що на трудомісткість покрівельних робіт визначально впливає не стільки площа даху, скільки його конструктивна схема та застосовані матеріали. Пласкі рулонні системи є оптимальними для громадських будівель типового проєктування завдяки простоті монтажу та відносно низьким витратам праці. Скатні дахи, хоча й більш трудомісткі, забезпечують кращу архітектурну виразність, надійність водовідведення та довговічність, що робить їх доцільними для житлових і малоповерхових будівель. Додатково слід враховувати, що матеріали покриття та умови виконання робіт (зокрема вимоги до

безпеки при монтажі на висоті) можуть суттєво змінювати трудові витрати.

Розрахунки показали, що трудомісткість установлення віконних блоків на досліджених об'єктах практично не відрізняється: значення варіюють у межах 0,097–0,170 люд.-днів/м² при середньому показнику близько 0,12 люд.-днів/м². Це підтверджує високий рівень уніфікації даного виду робіт.

У всіх випадках застосовувались металопластикові блоки з ПВХ-профілю, обладнані двокамерними склопакетами товщиною 32 мм з енергозберігаючим склом. Стандартизовані характеристики виробів і типова технологія монтажу забезпечили сталість трудових витрат. Невеликі відмінності пояснюються переважно конструктивними умовами об'єктів — кількістю й розмірами прорізів, поверховістю будівлі та доступністю робочих зон.

Отже, трудомісткість монтажу віконних блоків визначається не стільки типом будівлі, скільки стандартизованою технологією виконання. Використання готових ПВХ-конструкцій забезпечує істотну економію праці порівняно з традиційними дерев'яними рамами та дозволяє підтримувати стабільний рівень витрат незалежно від специфіки будівлі.

Отримані результати свідчать, що фасадні роботи є найбільш варіативними за трудомісткістю серед усіх досліджених процесів і значною мірою залежать від застосованої технології. У більшості випадків використовувалася система «мокрого фасаду» з утепленням мінераловатними плитами товщиною 150 мм, подальшим нанесенням армувального та декоративного шарів і завершальним фарбуванням. Трудові витрати для такої технології залишаються стабільними й перебувають у межах 0,60 люд.-днів/м², однак сам процес є багатоступеневим і потребує значних витрат часу. Крім того, «мокрі» фасади суттєво залежать від погодних умов, що ускладнює їх виконання в осінньо-зимовий період.

Іншу картину демонструють об'єкти з вентильованими фасадними системами (амбулаторія в с. Девладове, ДНЗ у Старих Кодаках та м. Покрові). Тут трудомісткість коливається у межах 0,28–0,31 люд.-днів/м², тобто майже вдвічі нижча порівняно з «мокрими» технологіями. Пояснюється це тим, що більшість операцій виконується сухим методом — монтаж утеплювача та облицювання без трудомісткого нанесення розчинів. Це дає можливість проводити роботи у холодний період року, зменшує вплив погодних факторів і прискорює реалізацію фасадних робіт.

Разом із тим, вентильовані фасади вимагають складніших технологічних рішень, дорожчих матеріалів і більш організованої логістики. Проте вони мають кращі показники довговічності, забезпечують вищий рівень енергоефективності та спрощують експлуатаційне обслуговування, оскільки пошкоджені елементи облицювання можуть бути замінені окремо.

Таким чином, обрана система фасаду визначає не лише обсяг трудових витрат, але й сезонність виконання, тривалість будівництва та подальші експлуатаційні характеристики будівлі. «Мокрі фасади» залишаються економічно привабливим рішенням для об'єктів із обмеженим бюджетом, тоді як вентильовані системи забезпечують сучасні вимоги до комфорту й енергоефективності, хоча й потребують більших початкових витрат.

У лютому 2018 року для дошкільного навчального закладу в с. Малки проектною документацією було передбачено влаштування вентильованих фасадів із застосуванням системи термофасадів CERESIT MB. Технологія включала утеплення вертикальних стін із дрібноштучних матеріалів мінераловатними плитами товщиною 120 мм із подальшим облицюванням фасадною керамічною плиткою з риштувань. Орієнтовна кошторисна вартість таких робіт на момент проектування становила 946 300 грн.

Однак станом на серпень 2019 року, коли будівництво перейшло до етапу

фасадних робіт, замовник ініціював коригування проєкту, у рамках якого було прийнято рішення замінити вентилявану систему на традиційний «мокрый» штукатурний фасад. Вартість цих робіт за оновленою документацією зменшилася до 774 079 грн. Важливо врахувати, що між первинним проєктуванням і фактичним виконанням робіт минуло близько півтора року, і за цей час ринкова ціна на вентилявані системи також зросла б, що зробило б їх ще дорожчими у порівнянні з кошторисом 2018 року.

Додатковим фактором, який сприяв такому рішенню, стали сприятливі літні умови. Оскільки черга на фасадні роботи настала влітку, технологічних перешкод для виконання «мокрих» процесів не існувало. Не було потреби в економії трудовитрат у люд.-днях, адже погодні умови дозволяли безперешкодно реалізувати більш трудомістку, але дешевшу технологію. Це посилило аргументацію на користь економії бюджетних коштів. Таким чином, рішення про заміну фасадної системи мало комплексні наслідки. Передусім воно дозволило зекономити понад 170 тис. грн, що становить близько 18 % від початкової вартості фасадних робіт, і стало вагомим економічним аргументом. З організаційно-технологічної точки зору, хоча «мокрі» фасади потребують більших трудових витрат, виконання робіт у літній період зробило цю обставину некритичною, а відсутність необхідності у складній логістиці спростила процес будівництва. Важливим чинником було й те, що за півтора року від моменту проєктування до фактичного виконання вартість вентиляваних систем зросла, що робило їх застосування ще менш доцільним. Водночас слід зазначити, що вентилявані фасади забезпечують вищі експлуатаційні та енергоефективні характеристики, однак у даному випадку замовник віддав перевагу економії бюджетних ресурсів і дотриманню календарних строків. Цей приклад наочно

демонструє, як у процесі тривалого будівництва можливим є впровадження оптимізаційних та економічно вигідних рішень для замовника, що враховують змінні зовнішні фактори, які не завжди можна передбачити на стадії проєктування.

Висновок

Отримані результати мають практичне значення для вдосконалення управління будівельним виробництвом. Виявлені закономірності свідчать про те, що вже на стадії проєктування можливо оцінювати майбутні трудові витрати з урахуванням типу споруди, обраних конструктивних рішень та технології виконання робіт. Це створює підґрунтя для більш раціонального вибору альтернативних варіантів організації будівельних процесів з огляду не лише на матеріальні витрати, а й на трудомісткість, строки виконання та сезонні умови.

Таким чином, результати дослідження можуть використовуватися як інструмент прогнозування, що сприятиме підвищенню ефективності календарного планування, оптимізації залучення трудових ресурсів і формуванню стратегій удосконалення будівельного виробництва. Водночас отримані висновки потребують подальшого розвитку: необхідний більш глибокий аналіз взаємозв'язку між трудовитратами, енергетичними ресурсами та організаційно-технологічними чинниками, а також розширення вибірки об'єктів для підвищення надійності та універсальності результатів. Перспективним напрямом подальших досліджень є розробка розрахункової математичної моделі, яка дозволить кількісно оцінювати енергоефективність різних будівельних процесів, а також створення алгоритму підтримки прийняття рішень для вибору оптимальних організаційно-технологічних рішень спорудження будівель із урахуванням мінімізації витрат енергоресурсів..

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ding F., Liu M., Hsiang S. M., Hu P., Zhang Y., Jiang K. Duration and Labor Resource Optimization for Construction Projects. A Conditional-Value-at-Risk-Based Analysis. *Buildings*. 2024. № 14 (2). Pp. 553. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14020553>
2. Tabrizikahou A., Nowotarski P. Mitigating the Energy Consumption and the Carbon Emission in the Building Structures by Optimization of the Construction Processes. *Energies*. 2021. № 14 (11). Pp. 3287. URL: <https://doi.org/10.3390/en14113287>
3. Куц Ю. В., Лисенко Ю. Ю. Статистичні методи визначення залежностей між випадковими величинами : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.
4. Бідюк П. І., Данилов В. Я., Жиров О. Л. Прикладна статистика : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.

REFERENCES

1. Ding F., Liu M., Hsiang S.M., Hu P., Zhang Y. and Jiang K. Duration and Labor Resource Optimization for Construction Projects. A Conditional-Value-at-Risk-Based Analysis. *Buildings*. 2024, no. 14 (2), pp. 553. URL: <https://doi.org/10.3390/buildings14020553>
2. Tabrizikahou A. and Nowotarski P. Mitigating the Energy Consumption and the Carbon Emission in the Building Structures by Optimization of the Construction Processes. *Energies*. 2021, no. 14 (11), pp. 3287. URL: <https://doi.org/10.3390/en14113287>
3. Kuts Yu.V. and Lysenko Yu.Yu. *Statystychni metody vyznachennya zalezhnostey mizh vypadkovymy velychynamy: navch. posib.* [Statistical methods for determining dependencies between random variables : textbook]. Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2022. (in Ukrainian).
4. Bidyuk P.I., Danilov V.Ya. and Zhyrov O.L. *Prykladna statystyka : navch. posib.* [Applied Statistics : textbook]. Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2023. (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 03.09.2025.