

УДК 69.055: 69.003

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРИВАЛОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ ЗА ФІНАНСОВИХ І ОРГАНІЗАЦІЙНИХ ОБМЕЖЕНЬ

Д-р техн. наук О. І. Менайлюк, кандидати техн. наук І. О. Менайлюк, О. Л. Нікіфоров,
студент О. Л. Сverdlenko

OPTIMIZATION OF THE DURATION OF RECONSTRUCTION OF A PUBLIC BUILDING WITH FINANCIAL AND ORGANIZATIONAL LIMITATIONS

D. Sc. (Tech.) O. Meneilyuk, PhD (Tech.) I. Meneilyuk, PhD (Tech.) O. Nikiforov,
student O. Sverdlenko

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.189.2020.213354>

Анотація. Сучасна практика архітектурного проектування і будівництва будівель більшою мірою пов'язана з реконструкцією існуючого фонду і модернізацією різних споруд. Так, реконструкція є магістральним напрямом у галузі будівництва. На підприємствах при технічному розвитку виникають і накопичуються з часом невідповідності між будівельними рішеннями минулих років і потребами сьогодення. У підсумку необхідна реконструкція будівлі. Проведення таких робіт виконується, як правило, в умовах стисненого міського простору, при обмеженні можливих організаційних режимів робіт і фінансових лімітах. Це потребує прийняття специфічних організаційних рішень в умовах обмежень, методи розроблення яких не описані в нормативній і довідковій літературі. Мета: пошук оптимальних значень тривалості реконструкції громадської будівлі при обмеженнях за інтенсивністю фінансування і кількістю робочих годин на тиждень шляхом експериментально статистичного моделювання. У роботі проведено аналіз інформаційних джерел за напрямками встановлення рівня актуальності, обґрунтування апріорних положень дослідження. Визначено показники та фактори, що є найбільш значущими для громадської будівлі, реконструкція якої розглядається. Проведено чисельний експеримент із використанням програмного забезпечення з управління проектами (Microsoft Project) і кореляційно-регресійного аналізу (COMPEX). Знайдено закономірності зміни тривалості та інтенсивності фінансування реконструкції під впливом кількості робочих годин на тиждень і коефіцієнта суміщення робіт. Графічно знайдено найменше значення тривалості реконструкції при обмеженнях за кількістю робочих годин та інтенсивності фінансування, що є найбільш характерними для громадської будівлі, реконструкція якої моделюється. Експериментально-статистичне моделювання дозволяє оптимізувати тривалість реконструкції при впливі діючих обмежень в умовах варіювання організаційних факторів.

Ключові слова: реконструкція будівлі, будівельні рішення, тривалість, інтенсивність фінансування, фактори.

Abstract. *The modern practice of architectural design and construction of buildings is more associated with the reconstruction of the existing fund and the modernization of various structures. So, reconstruction is the main direction in the field of construction. In enterprises with technical development, discrepancies arise between the construction decisions of past years and the needs of the present with the accumulation of time. As a result, reconstruction of the building is necessary. Such work is carried out, as a rule, in a compressed urban space, while limiting the possible organizational modes of work and financial limits. This requires the adoption of specific organizational decisions in the face of restrictions, the development methods of which are not described in the normative and reference literature. Goal is to search for optimal values for the duration of the reconstruction of a public building with restrictions on the intensity of financing and the number of working hours per week, through experimental-statistical modeling. The paper analyzes information sources in the areas of establishing the level of relevance, substantiating the a priori provisions of the study. The indicators and factors that are most significant for the public building, the reconstruction of which is considered, are determined. Conducted a numerical experiment using project management software (Microsoft Project) and correlation and regression analysis (COMPEX). Found patterns of change in the duration and intensity of reconstruction financing under the influence of the number of working hours per week and the coefficient of combination of works. Graphically, the smallest value of the duration of the reconstruction was found with restrictions on the number of working hours and the intensity of financing, which are the most characteristic for the public building, the reconstruction of which is modeled. Experimental-statistical modeling allows you to optimize the duration of the reconstruction under the influence of existing restrictions in the context of varying organizational factors.*

Keywords: reconstruction of the building, construction decisions, duration, funding intensity, factors.

Вступ. Невідповідність будівель, побудованих за часів СРСР, сьогодишнім вимогам, а також істотний технічний прогрес, реформування економіки і перехід до ринкових принципів оцінювання ефективності призводять до необхідності зміни їхнього цільового та функціонального призначення.

Технічний стан багатьох промислових і цивільних будівель в Україні дозволяє експлуатувати їх ще не одне десятиліття. Більшість з них знаходиться всередині територій населених пунктів. Реконструкція порівняно з новим будівництвом дозволяє не тільки отримати нові об'єкти в межах міста, але і знизити вартість будівельних робіт. Тема дослідження є надзвичайно актуальною, враховуючи високий соціальний, економічний і технічний ефект вирішення

проблеми вибору раціональних організаційних рішень при реконструкції в умовах перепрофілювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відповідно до досліджень серед факторів, що мають найбільший вплив на процес реконструкції житлових комплексів, найбільш значущими є суміщеність робіт і варіативність кількості робочих годин на тиждень [4]. Дослідники виділяють такі основні показники реконструкції будівель: тривалість і інтенсивність фінансування [3, 7]. З огляду на те, що як будівництво, так і реконструкція проводяться в нестабільних фінансово-економічних умовах [2, 8], важливим є дослідити вплив організаційних режимів реконструкції на ці показники.

Аналіз робіт, присвячених оптимізації організаційно-технологічних рішень

будівництва і реконструкції [4, 5, 10], дозволяє зробити висновок, що застосування експериментально-статистичного моделювання є ефективним способом вирішення подібних завдань і може бути використано при моделюванні та оптимізації операційної діяльності підприємств з будівництва і реконструкції будівель. Незважаючи на те, що деякі оптимізаційні дослідження дозволяють знайти раціональні рішення підприємств при застосуванні аналізу мережеских моделей [14], їх використання є занадто трудомістким. Альтернативні методи (у тому числі мережі Петрі, нечіткі методи оптимізації даних) не можуть бути використані для низького числа точок експерименту [15, 16], тому для чисельного моделювання процесів будівельного виробництва вибрано моделювання у програмі MS Project. Методикам оптимізації при застосуванні експериментально-статистичного моделювання присвячені роботи [1, 6, 9, 11–13].

Визначення мети та завдання дослідження. Розробити методику, присвячену вибору ефективних моделей організації реконструкції будівлі, найбільш ефективну в умовах організаційних обмежень. Для досягнення зазначеної мети вирішено такі завдання:

1. Аналіз інформаційних джерел з теми дослідження.

2. Вибір найбільш значущих показників і факторів, планування

чисельного експерименту.

3. Експериментально-статистичне моделювання реконструкції громадської будівлі і введення організаційно-фінансових обмежень у закономірності зміни тривалості реконструкції.

4. Пошук оптимальних рішень в умовах обмежень.

Основна частина дослідження. Для побудови математичної моделі необхідно визначити найбільш значущі показники для вибору ефективної моделі реконструкції будівлі, що дадуть оцінку ефективності фінансових і організаційних рішень.

Найбільш значущими показниками ефективності при реконструкції будівлі обрано такі:

– Y_1 – тривалість реконструкції – визначається за критичним шляхом складеного календарного графіка виконання робіт;

– Y_2 – інтенсивність фінансування реконструкції – визначає, яка сума необхідна для проведення робіт на місяць.

На обрані показники найбільший вплив мають такі фактори:

– X_1 – кількість робочих годин на тиждень – при розробленні плану експерименту було обрано 40, 72, 112 робочих годин на тиждень;

– X_2 – коефіцієнт суміщення робіт – відношення сумарної довжини періодів суміщення між парами попередніх і наступних робіт до сумарної тривалості всіх процесів на всіх захватках:

$$X_2 = \frac{\sum t_{\text{совм.}}}{\sum t_{\text{прод.}}} * 100\% = \frac{\sum t_{\text{прод.}} - t_{\text{оконч.}}}{\sum t_{\text{прод.}}} * 100\% \quad (1)$$

де $\sum t_{\text{совм.}}$ – сумарний резерв часу, що вивільняється, у результаті поєднання робіт у часі;

$\sum t_{\text{прод.}}$ – сумарна тривалість всіх процесів на всіх захватках;

$t_{\text{оконч.}}$ – тривалість комплексу будівельних робіт, отримана в результаті суміщення робіт між собою.

Рівні варіювання всіх факторів, що впливають на ефективність проведення реконструкції, були прийняті відповідно до

теорії планування експерименту, яка передбачає, що варійовані фактори мають знаходитися в діапазоні -1; 0; +1. При цьому X_i , що позначається як -1, відповідає мінімальному значенню фактора, X_i , що позначається +1, – максимальному значенню, а X_i , що позначається 0, – середнє значення факторів. Фактори і рівні їх варіювання наведені в табл. 1.

Експериментальне статистичне моделювання процесів проводиться відповідно до теорії планування експериментів, що дозволяє зменшити обсяг робіт і провести експеримент з надійними і достовірними результатами. Для проведення експерименту з двома незалежними факторами був обраний план, кількість дослідів у якому – 9. При розрахунку експериментально-статистичних (ЕС) моделей перехід від натурних до кодованих змінних виконувався за типовою формулою:

$$x_i = \frac{x_i - \frac{x_{i \max} + x_{i \min}}{2}}{\frac{x_{i \max} - x_{i \min}}{2}}, \quad (2)$$

де x_i – нормалізоване значення рівня і-го фактора;

X_i – натурне значення рівня і-го фактора;

$X_{i \max}$ – натурне значення максимального рівня і-го фактора;

$X_{i \min}$ – натурне значення мінімального рівня і-го фактора $i = \{1, 2\}$.

Для кількісної оцінки та аналізу залежностей між показниками і впливаючими на них факторами для трифакторних моделей будуються експериментально-статистичні моделі, що являють собою математичні залежності у вигляді поліномів другого ступеня. Далі, після складання базової моделі, для отримання закономірностей впливу факторів на показники ефективності реконструкції виконується чисельний експеримент у програмі Microsoft Project.

Результати виконання чисельного експерименту за 9-точковим планом наведені в табл. 2. У стовпчиках 6-7 табл. 2 подані значення досліджуваних показників ефективності (тривалість реконструкції та інтенсивність фінансування) для кожного поєднання факторів

$$Y_i = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{12} X_1 X_2. \quad (3)$$

Таблиця 1

Фактори і рівні варіювання факторів експерименту

Кількість робочих годин на тиждень X_1 , год		Коефіцієнт суміщення робіт X_2	
-1	40	-1	0
-0,05	72	0	25 %
+1	112	+1	50 %

Таблиця 2

Результати чисельного експерименту

Номер з/п	Кількість робочих годин	Коефіцієнт суміщення робіт	Тривалість реконструкції Y_1 ,	Інтенсивність фінансування

	на тиждень X_1		X_2		дн.	реконструкції Y_2 , тис. умов. од./міс.
1	-1	40	-1,0	0,00	843,34	69,11
2	-0,05	72	-1,0	0,00	418,23	127,42
3	1	112	-1,0	0,00	313,67	165,97
4	-1	40	0,0	25,00	627,35	88,86
5	-0,05	72	0,0	25,00	312,47	166,56
6	1	112	0,0	25,00	151,5	331,05
7	-1	40	1,0	50,00	558	98,44
8	-0,05	72	1,0	50,00	158	317,91
9	1	112	1,0	50,00	102	486,00

Виявлені при виконанні чисельного експерименту закономірності дозволяють, змінюючи кількість робочих годин на тиждень і коефіцієнт суміщення робіт, вибрати найбільш ефективну модель реалізації проекту реконструкції. Результати моделювання на прикладі реального об'єкта реконструкції показали, що при зміні досліджуваних факторів основні показники ефективності можуть змінюватися в дуже широких межах:

- тривалість реконструкції – від 102 до 843,34 дн.;
- інтенсивність фінансування реконструкції – від 69,11 тис. умов. од./міс. до 486 тис. умов. од./міс.

Експериментально-статистичні моделі тривалості та інтенсивності фінансування

наведені нижче. Для моделі тривалості коефіцієнт детермінації становить 0,9926, похибка апроксимації – 21,6339; для моделі інтенсивності фінансування коефіцієнт детермінації становить 0,9861, похибка апроксимації – 15,3299.

Інвестором були задані такі обмеження:

- за рівнем фактора $X_1 \leq 72$ год ($X_1 \leq -0,05$). Таке обмеження було введено через важкість умов реконструкції, що не дозволяло проводити роботи більшу кількість годин на тиждень;

- за значенням показника $Y_2 \leq 300$ тис. умов. од. Таке обмеження було введено через неспроможність надавати більше коштів на реконструкцію.

$$Y_1 = 244,04 - 243,587X_1 + 165,203X_1^2 + 18,558X_1X_2 - 125,526X_2 + 35,1X_2^2, \quad (4)$$

$$Y_2 = 207,204 + 121,102X_1 - 10,844X_1^2 + 72,094X_1X_2 + 92,618X_2 + 15,318X_2^2. \quad (5)$$

Знайдемо координати точок, у яких показник набуває значення $Y_2 = 300$ тис. умов. од./міс. Такими точками є ($X_1 = -0,053$; $X_2 = 1$) і ($X_1 = 1$; $X_2 = -0,15$). Відповідні значення тривалості для даних точок дорівнюють $Y_{1min1} = 166$ дн. ($X_1 = -0,053$; $X_2 = 1$) і $Y_{1min2} = 183$ дн. ($X_1 = 1$; $X_2 = -0,15$). Мінімальне значення тривалості при

заданих обмеженнях одне: $Y_{1min} = 166$ дн. ($X_1 = -0,053$; $X_2 = 1$).

Таким чином мінімальна тривалість реконструкції при обмеженні по $X_1 \leq 72$ год та $Y_2 \leq 300$ тис. умов. од. становить $Y_1 = 166$ дн. ($X_1 = -0,053$; $X_2 = 1$).

Закономірність показника «тривалість реконструкції» при даних обмеженнях зображено на рисунку.

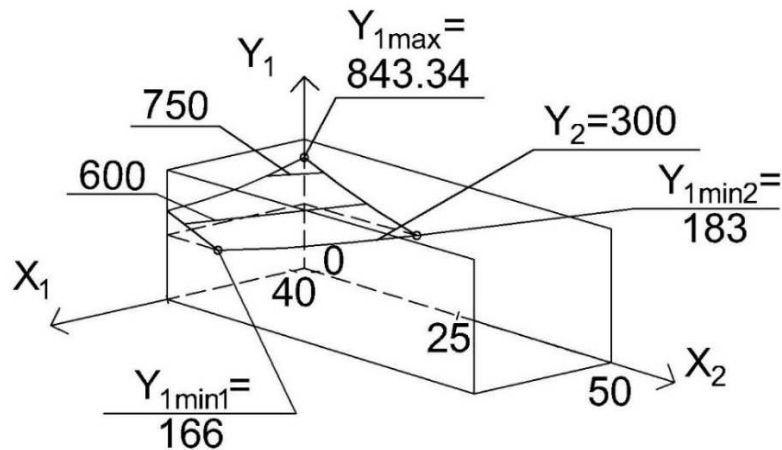


Рис. Закономірність зміни показника «тривалість у днях» Y_1 від факторів «кількість робочих годин на тиждень» X_1 і «коефіцієнта суміщення робіт» X_2 при обмеженнях $X_1 \leq 72$ год та $Y_2 \leq 300$ тис. умов. од.

Висновки

1. Аналіз інформаційних джерел показав високу актуальність проведеного дослідження та дозволив обґрунтувати апіорні положення.

2. Запропонований у статті підхід дозволяє розрахувати оптимальні значення тривалості реконструкції громадської будівлі і може використовуватися для інших проектів будівництва житлового комплексу.

3. Побудовані експериментально-статистичні залежності від кількості

робочих годин на тиждень і коефіцієнта суміщення робіт реконструкції дозволили ввести обмеження і визначити найефективніший варіант організації реконструкції.

4. Мінімальна тривалість реконструкції розглянутого цивільного будинку становить 166 дн. при обмеженнях за кількістю робочих годин на тиждень не більше 72 год та за інтенсивністю фінансування – не більше 300 тис. умов. од.

Список використаних джерел

1. Задгенидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. Москва: Наука, 1976. 390 с.
2. Ковтун М. В. Становлення та розвиток ринку житла України в умовах ринкових перетворень. Науковий вісник Ужгородського університету. 2014. № 1. С. 282–286.
3. Кравчуновська Т. С., Броневицький С. П. Розвиток будівництва доступного житла з урахуванням концепції стійкого розвитку міст. Сборник научных трудов: Строительство, материаловедение, машиностроение. 2015. № 82. С. 104–110.
4. Лобакова Л. В. Організаційне моделювання реконструкції будівель при їх перепрофілюванні : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08. Одеса, 2016. 21 с.
5. Менейлюк А. И., Ершов М. Н., Никифоров А. Л., Менейлюк И. А. Оптимизация организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений. Киев: ТОВ НВП «Інтерсервіс», 2016. 332 с.
6. Налимов В. В., Голикова Т. И. Логические основания планирования эксперимента. Москва: Металлургия, 1980. 152 с.

7. Нечепуренко Д. С. Систематизація організаційно-технологічних факторів, які впливають на тривалість та вартість реалізації енергозберігаючих проектів комплексної реконструкції житлової забудови. *Строительство, материаловедение, машиностроение*. 2014. № 120. С. 120–126.
8. Сафонов Ю. М., Євтеєва В. Г. Про механізми залучення та джерела фінансування інвестицій у будівництво житла в Україні. *Інвестиції: практика та досвід*. 2013. № 16. С. 18–21.
9. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей / В. З. Бродский, Л. И. Бродский, Т. И. Голикова и др. Москва: Металлургия, 1982. 752 с.
10. Чернов І. С. Вибір ефективних моделей зведення житлових будівель при фінансовій ситуації, що змінюється : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08. Одеса, 2013. 20 с.
11. Финни Д. Введение в теорию планирования экспериментов / пер. с англ. И. Л. Романовской и А. П. Ху-су, под ред. Ю. В. Линника. Москва: Наука, 1970. 281 с.
12. Kumar R., Vrat P. Using computer models in corporate planning. *Long Range Plann.* 1989. Т. 22. № 2. Р. 114–120. URL: [https://doi.org/10.1016/0024-6301\(89\)90130-1](https://doi.org/10.1016/0024-6301(89)90130-1).
13. Kempthorne O. *The Design and Analysis of Experiments*. Oscar Kempthorne. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1952. 534 p. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1952.tb02500.x>.
14. Ma T., Guo J. Study on information transmission model of enterprise informal organizations based on the hypernetwork. *Chinese J. Phys.* 2018. Т. 56. № 5. Р. 2424–2438.
15. Martinez-Araiza U., López-Mellado E. CTL Model Repair for Inter-organizational Business Processes Modelled as oWFN. *IFAC-PapersOnLine*. 2016. Т. 49. № 2. Р. 6–11.
16. Ricciardi F., Zardini A., Rossignoli C. Organizational dynamism and adaptive business model innovation: The triple paradox configuration. *J. Bus. Res.* 2016. Т. 69. № 11. Р. 5487–5493.

Менейлюк Олександр Іванович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва і архітектури. ORCID iD: 0000-0002-1007-309X. Тел.: (048) 729-85-09. E-mail: meneilyk@gmail.com.

Менейлюк Іван Олександрович, кандидат технічних наук, докторант кафедри технології будівельного виробництва Харківського національного університету будівництва та архітектури. ORCID iD: 0000-0001-7075-2898. Тел.: (057) 7-000-240. E-mail: meneyiv@gmail.com.

Нікіфоров Олексій Леонідович, кандидат технічних наук, асистент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва і архітектури. ORCID iD: 0000-0001-7002-7055. Тел.: (048) 729-85-09. E-mail: nikiforov.aleksey@yahoo.com.

Свердленко Олексій Леонідович, студент кафедри технології будівельного виробництва Одеської державної академії будівництва і архітектури. Тел.: (048) 729-85-09. E-mail: lea.sverlo@gmail.com.

Meneiliuk Oleksandr, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Chairman of Department of Technology of Building Industry of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. ORCID iD: 0000-0002-1007-309X. Tel.: (048) 729-85-09. E-mail: meneilyk@gmail.com.

Meneiliuk Ivan, Candidate of Engineering Sciences, Doctoral student of Department of Technology of Building Industry of Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. ORCID iD: 0000-0001-7075-2898. Tel.: (057) 7-000-240. E-mail: meneyiv@gmail.com.

Nikiforov Oleksii, Candidate of Engineering Sciences, assistant of Department of Technology of Building Industry of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. ORCID iD: 0000-0001-7002-7055. Tel.: (066) 33-09-054. E-mail: nikiforov.aleksey@yahoo.com.

Sverdlenko Oleksii, student of Department of Technology of Building Industry of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (048) 729-85-09. E-mail: lea.sverlo@gmail.com.

Статтю прийнято 20.12.2019 р.