

УДК 658.511:69.055

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ПРИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБМЕЖЕННЯХ

О.Л. Нікіфоров, асп., І.О. Менеїлюк, к.т.н.,
Одеська державна академія будівництва та архітектури, Україна, М.М. Єршов,
проф., к.т.н., Московський державний будівельний університет, Росія

Анотація. Наведено результати оптимізації організаційно-технологічних рішень реконструкції інженерних споруд на прикладі радіобасти ім. Шухова. За результатами аналізу діаграм, що містять обмеження, рекомендовано найбільш ефективні варіанти організації й технології проведення робіт із реконструкції.

Ключові слова: експериментально-статистичне моделювання, реконструкція, висотні інженерні споруди, чисельні методи оптимізації.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЯХ

А.Л. Никифоров, асп., И.А. Менеїлюк, к.т.н.,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина,
М.Н. Ершов, проф., к.т.н.,
Московский государственный строительный университет, Россия

Аннотация. Приведены результаты оптимизации организационно-технологических решений реконструкции инженерных сооружений на примере радиобасти им. Шухова. По результатам анализа содержащих ограничения диаграмм рекомендованы наиболее эффективные варианты организации и технологии проведения работ по реконструкции.

Ключевые слова: экспериментально-статистическое моделирование, реконструкция, высотные инженерные сооружения, численные методы оптимизации.

OPTIMIZATION OF ENGINEERING STRUCTURES RECONSTRUCTION ON THE ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL CONSTRAINTS

A. Nikiforov, P. G., I. Meneilyuk, Ph. D. (Eng.),
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Ukraine,
M. Ershov, Prof., Ph. D. (Eng.), Moscow State Building University, Russia

Abstract. This article presents the results of optimization of the organizational and technological decisions of engineering structures reconstruction on example of the Shukhov radio-tower. According to the analysis of diagrams containing restrictions the most efficient organizational options, as well as the technology for reconstruction are recommended.

Key words: experimental statistical modelling, reconstruction, high-rise structures, numerical methods of optimization.

Вступ

В Україні й за її межами є велика кількість висотних інженерних споруд. Значна частина

з них експлуатується десятки років і більше. Багато з висотних інженерних споруд вимагають проведення ремонтно-відновлювальних робіт, а деякі – протиаварійних.

Реалізація таких проектів вимагає значних витрат. Як правило, існує безліч варіантів виконання робіт із реконструкції. Вони можуть мати різну вартість, терміни виконання.

Специфіка деяких об'єктів вимагає певного графіка робіт (тільки в нічну зміну, використання обмеженої кількості людей або календарного часу). У нормативних документах і вивчених інформаційних джерелах відсутні вказівки щодо вибору ефективних організаційно-технологічних рішень під час реконструкції таких споруд. Тому такі роботи вимагають моделювання та подальшої оптимізації з найбільш важливих критеріїв.

Моделювання таких варіантів і аналіз експериментально-статистичних моделей дозволить визначити краще рішення за обраними критеріями ефективності.

Аналіз публікацій

Вивчення літературних джерел з теми дослідження не виявило детальних рекомендацій з проведення реконструкції висотних інженерних споруд. Загальні вимоги щодо проведення таких робіт викладені в [1]. Деякі відомості про проведення робіт з висотного будівництва в регіоні, де знаходиться приклад інженерної споруди, що потребує реконструкції, викладено в [2].

Мета і постановка завдання

Метою дослідження є оптимізація організаційно-технологічних рішень реконструкції висотних інженерних споруд в умовах заданих обмежень на прикладі радіобашти ім. Шухова. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- 1) розробити алгоритм чисельної оптимізації організаційно-технологічних рішень, що використовує експериментально-статистичне моделювання проекту реконструкції;
- 2) провести чисельний експеримент і побудувати аналітичні та графічні залежності досліджуваних показників від організаційних чинників;
- 3) рекомендувати оптимальні варіанти виконання робіт із реконструкції за заданими обмеженнями.

Визначення оптимальних рішень реконструкції радіобашти ім. Шухова

Для вирішення завдання оптимізації проекту реконструкції Шуховської радіобашти було проведено чисельний експеримент із моделювання варіантів організаційно-технологічних рішень цих робіт. Під час проведення чисельного дослідження використовувалися теорії оптимального планування експерименту, експериментально-статистичного моделювання, сучасне програмне забезпечення для побудови календарно-мережних моделей будівельного виробництва [3–5].

Проведення чисельного дослідження за розробленим алгоритмом дозволяє обґрунтовано обрати оптимальні організаційно-технологічні рішення щодо проведення комплексу відновлювальних робіт у складних організаційних умовах і обмеженому фінансуванні [6]. Під час проведення дослідження було використано кошторисну документацію, що відображала актуальні витрати на проведення будівельно-монтажних робіт. Побудова графіків будівництва дозволила коректно відобразити послідовність і прийняті технологічні рішення під час проведення висотних монтажних робіт. Таким чином, вказане дослідження дає кількісну оцінку альтернатив реалізації проекту за змінюваних варіантів організації комплексу відновлювальних робіт, умов фінансування та наявних обмежень.

Вирішення задач оптимізації складається з етапів, показаних на рис. 1. На наш погляд, найбільш значущими є такі показники:

- тривалість будівельно-монтажних робіт, дн.;
- сумарна вартість, млн руб.;
- виробіток, руб.;
- економічний ефект від зміни термінів будівництва, млн руб.

Технологічні фактори показують, яку технологічну схему або їх поєднання можна використати для проведення висотних робіт із реконструкції:

- вага металоконструкцій, що реконструюються з використанням риштувань, у відсотках від загальної ваги (V_1);
- вага металоконструкцій, що реконструюються з використанням колісок, у відсотках від загальної ваги (V_2);

– вага металоконструкцій, що реконструюються з використанням промислового альпінізму, у відсотках від загальної ваги (V_3).

Організаційні фактори характеризують ступінь інтенсифікації будівельного виробництва:

- ступінь поєднання одночасного ведення робіт (X_4);
- коефіцієнт використання календарного часу (X_5).

За результатами побудови моделей проекту реконструкції (календарних графіків виконання робіт) було досліджено показники проекту реконструкції, що змінюються під впливом організаційних чинників. Результати проведеного дослідження наведені в табл. 1.

За результатами регресійного аналізу експериментальних даних [7] було побудовано аналітичні моделі зміни показників проекту реконструкції (табл. 2).



Рис. 1. Методика дослідження

Таблиця 1 Матриця результатів експерименту

№ точки	Натурні значення факторів					Показники			
	V_1 Частка тоннажу М/К, що реконструюються з використанням ригувань, %	V_2 Частка тоннажу М/К, що реконструюються з використанням колісок, %	V_3 Частка тоннажу М/К, що реконструюються з використанням промалпа, %	X_4 Ступінь суміщення робіт, %	X_5 Коефіцієнт використання календарного часу на тиждень	Тривалість будівельно-монтажних робіт, днів	Сумарна вартість, тис. руб.	Виріток, руб.	Економічний ефект, тис. руб.
1	0,00	100,00	0,00	0,00	0,24	1 010,00	158 156,44	1 956,17	319,97
2	50,00	0,00	50,00	0,00	0,24	759,00	178 420,06	2 161,81	3 596,76
3	100,00	0,00	0,00	21,08	0,62	395,00	171 626,04	2 204,90	7 973,67
4	0,00	0,00	100,00	0,00	0,62	365,00	142 964,35	1 679,25	6 951,95
5	50,00	50,00	0,00	0,00	1,00	231,00	171 670,51	2 194,31	10 009,98
6	50,00	50,00	0,00	0,00	0,24	784,00	191 850,75	2 430,51	3 520,96
7	50,00	0,00	50,00	21,08	0,62	289,00	163 171,15	1 981,85	8 830,58
8	0,00	50,00	50,00	21,08	1,00	187,00	146 366,98	1 759,54	8 999,88
9	100,00	0,00	0,00	21,08	0,24	602,00	181 467,31	2 331,33	5 716,74
10	0,00	100,00	0,00	42,15	0,24	589,00	151 235,90	1 870,58	4 906,42
11	0,00	0,00	100,00	42,15	0,24	555,00	143 775,61	1 688,78	5 017,60
12	33,3(3)	33,3(3)	33,3(3)	42,15	0,62	213,00	155 796,43	1 941,20	9 287,00
13	100,00	0,00	0,00	42,15	1,00	143,00	163 811,53	2 104,51	10 593,30
14	0,00	100,00	0,00	42,15	1,00	140,00	147 225,40	1 820,97	9 552,63
15	0,00	0,00	100,00	42,15	1,00	132,00	140 028,19	1 644,77	9 166,59

Таблиця 2 Експериментально-статистичні моделі реконструкції

Показник	Формула експериментально-статистичної моделі
Тривалість будівельно-монтажних робіт, дн.	$Y_1 = 306,67 V_1 + \bullet + \bullet - 90,96 V_1 X_4 - 304,28 V_1 X_5 + \bullet + 72,31 X_4 X_5 + 346,58 V_2 + \bullet + \bullet - 139,355 V_2 X_4 - 291,06 V_2 X_5 + 159,36 X_5^2 + 278,02 V_3 - 90,52 V_3 X_4 - 285,61 V_3 X_5$
Сумарна вартість, млн руб.	$Y_2 = 171138 V_1 + 69657 V_1 V_2 + \bullet - 3983 V_1 X_4 - 11423 V_1 X_5 - 3267 X_4^2 + 2869 X_4 X_5 + 144095 V_2 + \bullet + \bullet - 5119 V_2 X_5 + 8669 X_5^2 + 141338 V_3 - 4923 V_3 X_4 - 4631 V_3 X_5$
Виробіток, руб.	$Y_3 = 2192,65 V_1 + 987,43 V_1 V_2 + 197,28 V_1 V_3 - 43,23 V_1 X_4 - 142,91 V_1 X_5 - 29,36 X_4^2 + 33,22 X_4 X_5 + 1783,44 V_2 + \bullet + \bullet - 61,18 V_2 X_5 + 96,45 X_5^2 + 1653,85 V_3 - 55,36 V_3 X_4 - 53,38 V_3 X_5$
Економічний ефект від зміни строків будівництва, млн руб.	$Y_4 = 8261,28 V_1 + \bullet + \bullet + \bullet + 3503,42 V_1 X_5 + \bullet - 823,98 X_4 X_5 + 5656,72 V_2 + \bullet + 1770,86 V_2 X_4 + 2958,09 V_2 X_5 + \bullet + 7197,53 V_3 + \bullet + 3013,68 V_3 X_5$

Визначимо компромісне рішення за заданими критеріями організаційно-технологічних режимів проведення робіт:

- тривалість будівельно-монтажних робіт (обмеження - не більше ніж 200 днів);
- сумарна вартість (обмеження - не більше ніж 145 млн рублів).

Показники «тривалість будівельно-монтажних робіт» і «сумарна вартість» були обрані для побудови суміщеної діаграми, оскільки є основними для аналізу проектів реконструкції. Області допустимих значень для заданих обмежень подано на рис. 2.

Для обмеження за вартістю (не більше ніж 145 млн руб.) і тривалістю (не більше ніж 200 днів) допустимі поєднання організаційно-технологічних рішень можна визначити в межах будь-якої з виділених областей.

Розглянувши діаграму, можна побачити область допустимих значень, в якій знаходяться мінімальні величини показників за заданими обмеженнями:

- за показником «тривалість» $Y_{min} = 116$ днів;
- за показником «сумарна вартість» $Y_{min} = 133,059$ млн руб.

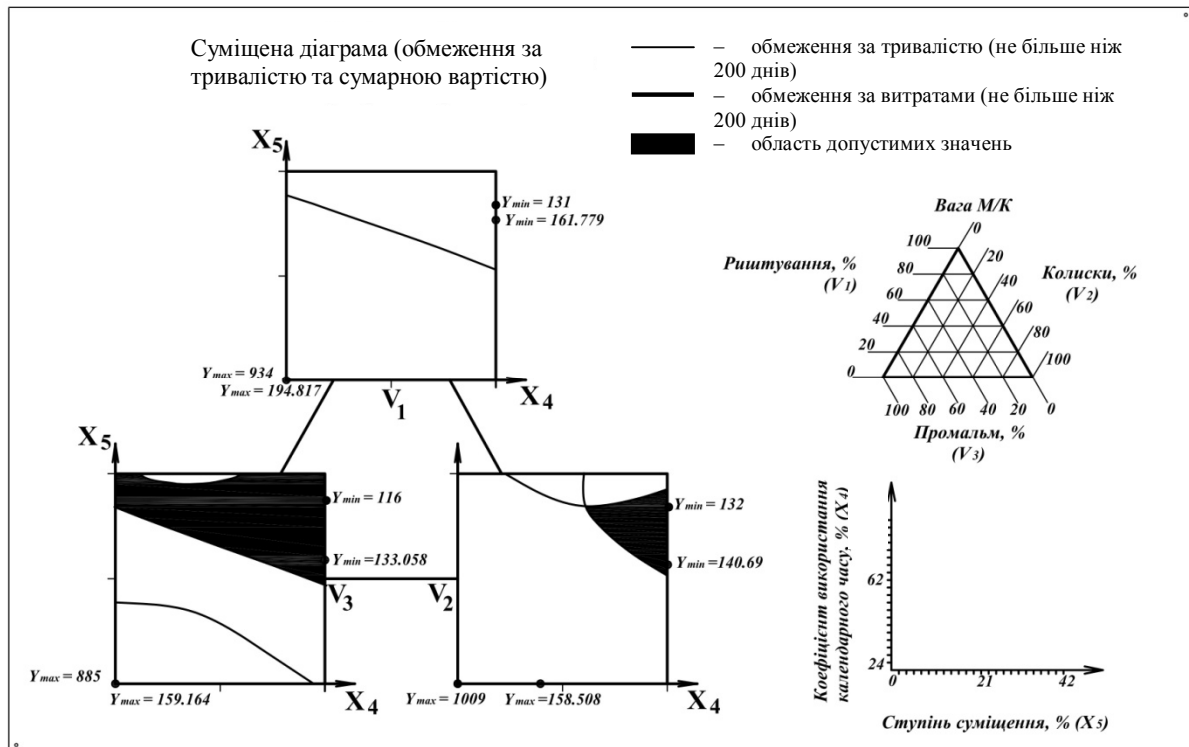


Рис. 2. Суміщена діаграма типу «квадрати на трикутнику»: обмеження за тривалістю й сумарною вартістю

Можна дійти висновку, що саме в цій області допустимих значень буде знаходитися оптимальне компромісне рішення.

Під час вибору компромісного рішення за заданими критеріями організаційно-технологічних режимів проведення робіт потрібно виділити, що провідним критерієм буде значення показника «сумарна вартість», оскільки діапазон зміни значень показника «тривалість» у даній області факторного простору варіюється незначною мірою.

Рациональним рішенням буде привести значення показника «сумарна вартість» до мінімуму, щоб значення показника «тривалість» при цьому перебувало в межах області допустимих значень. Тому компромісне рішення буде досягнуто у застосуванні технологічної схеми з використанням промислового альпінізму, за умови максимального рівня фактора «ступінь суміщення» – 42 % і рівня фактора «коефіцієнт використання календарного часу» – 77 % (7 днів у 2 зміни по 9 годин).

У процесі застосування цього рішення відмінність значень показників від мінімальних, показаних на діаграмах без обмежень, становить:

- значення показника «тривалість» збільшилося на 12 днів;
- значення показника «сумарна вартість» збільшилося на 0,77 млн руб.

Визначимо компромісне рішення за заданими критеріями організаційно-технологічних режимів проведення робіт:

- виробіток (обмеження – не менше 1800 рублів);
- економічний ефект (обмеження - не менше 8 млн рублів).

В економічному сенсі виробіток характеризує мінімальну межу рентабельності виробництва. За значень виробітку нижче визначених, кошти, зароблені в результаті виробництва, не зможуть покрити умовно-постійних витрат.

Економічний ефект побічно характеризує управлінську гнучкість технологічного рішення за необхідності змінювати інтенсивність виробництва, коли змінюються фінансово-економічні умови.

Області допустимих значень подано на рис. 3.

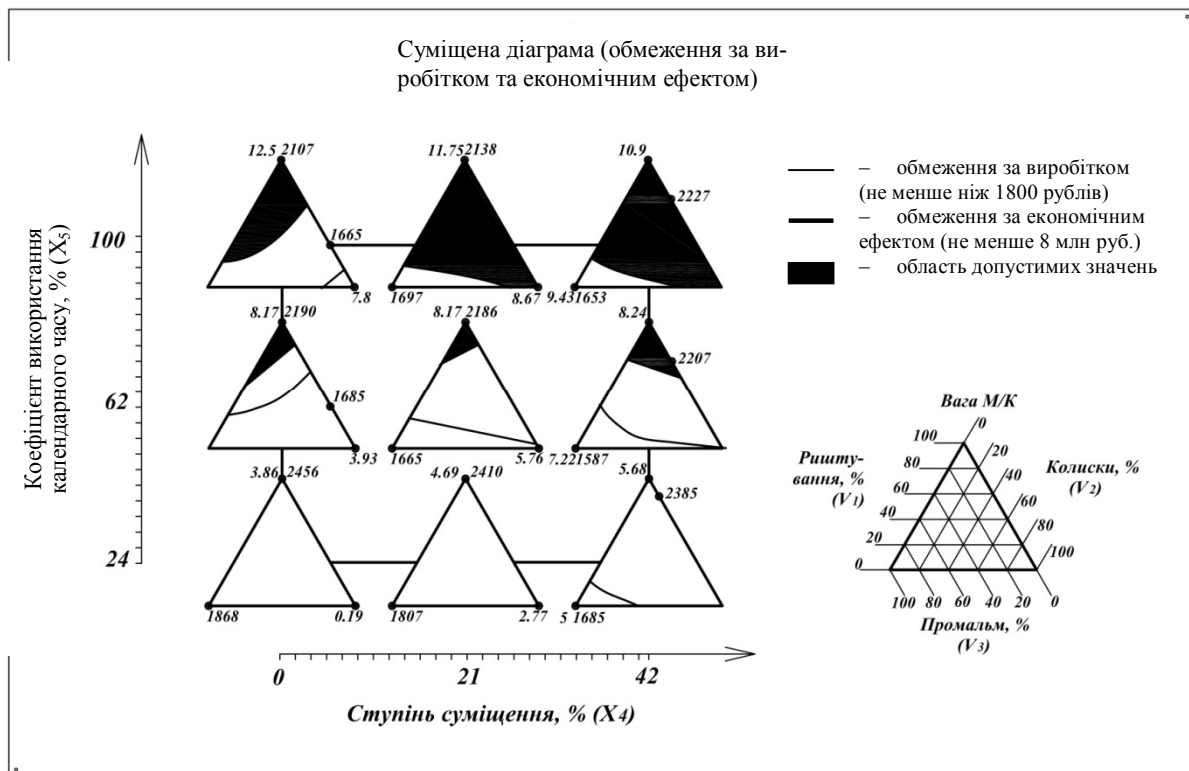


Рис. 3. Суміщена діаграма типу «трикутники у квадраті»: обмеження за виробітком і економічним ефектом

За умови обмеження за виробітком (не менше ніж 1800 руб.) і економічним ефектом (не менше ніж 8 млн руб.) можливі допустимі поєднання організаційно-технологічних рішень можна визначити в межах будь-якої з виділених областей. Провівши аналіз діаграми, можна побачити, що області допустимих значень показників можливі у процесі застосування технологічних схем із використанням колісок і будівельних риштувань за умови рівня фактора «коефіцієнт використання календарного часу», близького до 100 %.

Значення показників змінюються залежно від рівня фактора «ступінь суміщення»: за умови збільшення рівня фактора «ступінь суміщення» значення показника «виробіток» збільшується, але незначною мірою, при цьому значення показника «економічний ефект» зменшується. Оскільки значення показника «виробіток» змінюється незначною мірою за умови зміни рівня фактора «ступінь суміщення», то для вибору найбільш вигідного компромісного рішення потрібно взяти значення показника «економічний ефект» максимальним.

Компромісне рішення досягнення оптимуму у процесі аналізу суміщеної діаграми буде реалізовано під час застосування технологічної схеми з використанням риштувань, за умови мінімального рівня фактора «ступінь суміщення» – 0 % і рівня фактора «коефіцієнт використання календарного часу» – 100 % (7 днів у 3 зміни по 8 годин).

Під час застосування цього рішення значення показників становить:

– значення показника «виробіток» – 2107 руб.;

– значення показника «економічний ефект» – 12,5 млн руб.

У процесі використання технологічної схеми із застосуванням будівельних риштувань і заданих рівнів організаційних чинників можна сказати, що реконструкція за даним значенням показника «виробіток» буде вестися без грошових витрат, повністю перекриваючи умовно-постійні витрати. При цьому значення показника «економічний ефект» становить 12,5 млн руб.

Висновки

У процесі обмеження за показником «сумарна вартість» (не більше ніж 145 млн руб.) і

показником «тривалість» (не більше ніж 200 днів) можна досягти тривалості, рівної 116 днів, і сумарних витрат, рівних 133,059 млн руб. за умови застосування технологічної схеми з використанням промислового альпінізму, за умови максимального рівня фактора «ступінь суміщення» у 42 % і рівня фактора «коефіцієнт використання календарного часу» – 77 % (7 робочих днів на тиждень, у 2 зміни по 9 годин).

За умови обмеження за виробітком (не менше ніж 1800 руб.) і економічним ефектом (не менше ніж 8 млн руб.) можна досягти виробітку, рівного 2107 руб., і економічного ефекту, рівного 12,5 млн руб., у процесі застосування технологічної схеми з використанням риштувань, за умови мінімального рівня фактора «ступінь суміщення» і рівня фактора «коефіцієнт використання календарного часу» – 100 % (7 робочих днів на тиждень, у 3 зміни по 8 годин).

Література

1. Організація будівельного виробництва: ДБН А.3.1-5-2009. – Офіц. вид. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 61 с.
2. Граник Ю.Г. Высотное строительство Москвы / Ю.Г. Граник // Жилищное строительство. – 2008. – № 2. – С. 4–8.
3. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
4. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – 1-е изд. – М.: Наука, 1971. – 283 с. – 2-е изд., 1976. – 279 с.
5. Налимов В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 208 с.
6. Краковский Г.И. Планирование экспериментов / Г.И. Краковский, Г.Ф. Филаретов. – Минск: БГУ, 1982. – 757 с.
7. Вознесенский В.А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Б.Л. Огарков. – К.: Вища школа, 1989. – 328 с.

Рецензент: В.П. Кожушко, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 14 березня 2016 р.