

ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ПРИ ПЛАНУВАННІ БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКІВ

COST REDUCTION IN CONSTRUCTION SITE PLANNING

Мудрий І.Б. к.т.н., доцент (Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів)

Mudryj I.B., Ph.D., Associate Professor (National University of Lviv Polytechnic, Lviv)

Запропоновано вимоги до оптимізації планування будівельного майданчика за рахунок: зменшення необхідних площ ресурсів які розміщуються на будівництві, мінімізації шляху чи усунення непотрібного переміщення ресурсів та використання належних методів обробки матеріалів. Виконано аналіз існуючих інформаційних технологій, які використовуються для оптимізації площ елементів будівельного господарства при будівництві.

Construction site planning involves determining the composition of temporary objects on the site and has a significant impact on the safety and efficiency of construction works. Rational planning of the construction site allows: to reduce production costs; minimize the movement time of labor, materials, and equipment on the site; improve construction productivity; improve safety and quality of work performance. Optimizing the planning of the construction site can be achieved by: reducing the necessary areas of resources placed on the construction site and minimizing the path, or eliminating unnecessary movement of resources using proper methods of material processing. However, optimal planning of the construction site, taking into account the integrated management of health, safety, and environmental issues, especially with the help of intelligent technologies, has received little attention in construction practice.

Scientific research aimed at reducing construction costs by optimizing decisions made during the design of construction master plans exists in two main directions: minimization of the required areas of construction site elements by reducing the use of certain resources and rational planning of the construction site (operational efficiency) by reducing the distances of moving resources. Variant design when planning a construction site requires the creation of different planning models and increases design costs. CSLP (construction site layout planning) technology is used abroad to solve construction site planning problems.

In general, CSLP models provide zones for the placement of construction management elements on the site under the conditions of minimizing the total construction costs, but in practice, the location of these elements may also depend on other factors that are given in the article. The further development of such technologies should be based on the possibility of not only taking into account the long-distance

movement of resources and the number of workers involved in production but also methods of reducing the necessary areas of sanitary and administrative premises.

Ключові слова: будівельний генеральний план; будівельний майданчик; операційна ефективність; віддаль переміщення ресурсів; складські майданчики; площі побутових приміщень; необхідна площа будівельного майданчика.

Keywords: construction master plan; construction site; operational efficiency; the distance of moving resources; storage areas; areas of household premises; the necessary area of the construction site.

Огляд досліджень. Планування будівельних майданчиків передбачає визначення складу тимчасових об'єктів на майданчику та має суттєвий вплив на безпеку та ефективність будівельних робіт. Раціональне планування будівельного майданчика дозволяє [1]:

- знизити витрати на виробництво;
- мінімізувати час руху робочої сили, матеріалів та обладнання на майданчику;
- покращити продуктивність будівництва;
- підвищити безпеку та якість виконання робіт.

Основними організаційно-технологічними документами, що регламентують вимоги до планування будівельного майданчика (будівельного генерального плану) при будівництві житлово-цивільних, сільських та промислових об'єктів, є проект організації будівництва (ПОБ) та проект виконання робіт (ПВР) [2]. Ці документи проектуються відповідно до [3] та [4], і повинні містити заходи щодо ефективної організації будівництва з використанням сучасних засобів механізації та прогресивних технологій будівельного виробництва, що сприяють покращенню якості, скорочення термінів та собівартості робіт з дотримання вимог техніки безпеки.

Відповідно до [3] будівельний генеральний план - це план (макет) запроектованого об'єкта, на якому показано розміщення тимчасових та постійних будівель (споруд), визначено раціональне розміщення та склад об'єктів будівельного господарства, з метою максимально ефективно їх використати, враховуючи вимоги охорони праці, вибухо- та пожежобезпеки [4]. В практиці планування (зонування) будівельного майданчика (на етапі розробки проекту організації будівництва) виконується проектувальником на основі власного досвіду, відповідно до [3], умов стисливості [5] та заходів з охорони праці [6]. У свою чергу на будівельному майданчику керівники робіт (ПВР) часто уточнюють схему планування відповідно до умов виробництва та наявних ресурсів.

Оптимізація планування будівельного майданчика може бути досягнута за рахунок: зменшення необхідних площ ресурсів, які розміщуються на будівництві, та мінімізації шляху чи усунення

непотрібного, переміщення ресурсів із використанням належних методів обробки матеріалів [7].

Відомо, що оптимізація планування різних видів діяльності на території будівельного майданчика сприятиме підвищенню операційної ефективності, скорочує кількість відходів на 20-40%, і частково дозволяє знизити витрати до 80% [8]. Поділ (сортування) матеріалів, що переробляються і повторно використовуються на місці, зменшить експлуатаційні витрати.

Однак оптимальному плануванню будівельного майданчика з урахуванням комплексного управління питаннями охорони здоров'я, безпеки та навколишнього середовища, особливо за допомогою інтелектуальних технологій, в практиці зведення приділено мало уваги [9].

Задачі планування будівельного майданчика, як правило, стосуються розміщення набору тимчасових об'єктів інженерного господарства у певних місцях ділянки будівництва, одночасно оптимізуючи цілі планування та задовольняючи існуючим обмеженням з охорони праці та безпеки навколишнього середовища. Оптимальне планування будівельного майданчика має значення для управління проектом у цілому, оскільки воно зменшує час транспортування в межах ділянки, підвищує продуктивність і безпеку умов праці [10]. Завдання з планування будівельного майданчика зазвичай складається з визначення переліку тимчасових об'єктів, необхідних для підтримки будівельних робіт, визначення їх розмірів, форми та оптимального розміщення на незайнятих ділянках у межах будівництва. Порядок проектування будівельних генеральних планів в загальному показаний на рис. 1.

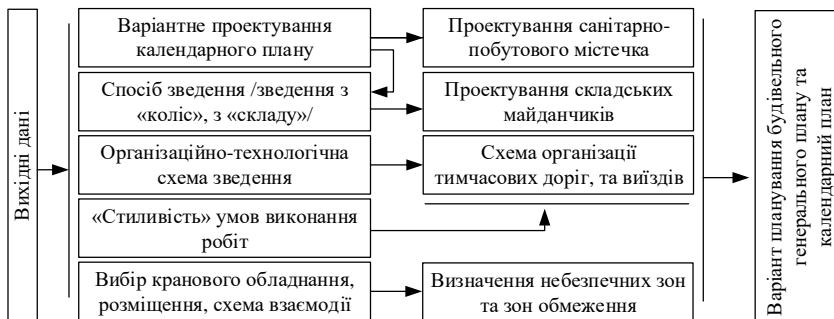


Рис. 1. Блок-схема проектування будівельного генерального плану

Мета роботи – виконати аналіз сучасного стану планування будівельних майданчиків, в умовах використання для пошуку оптимальних рішень інтелектуальних технологій моделювання.

Вклад основного матеріалу. Аналіз наукових досліджень [8, 9, 10, 11, 12], направлених на зменшення витрат зведення за рахунок оптимізації рішень, прийнятих при проектуванні будівельних генеральних планів, показує існування двох основних напрямків.

I. Мінімізації необхідних площ елементів будівельного майданчика за рахунок оптимізації використання певних ресурсів, зокрема:

а) зниження максимальної кількості робітників, залучених для виконання робіт, і відповідно зменшення необхідних площ санітарно-побутових та адміністративних приміщень. Зниження пікових навантажень у календарному плануванні за рахунок оптимізації нерівномірності використання ресурсів дозволяє мінімізувати необхідні площі і призводить до зменшення витрат. Необхідна площа санітарно-побутових та адміністративних приміщень ($S_{п.м.}$) визначається із залежності:

$$S_{п.м.} = N_{max} S_{од} k_n \quad (1)$$

де N_{max} – кількість робітників у зміні (максимальне значення), чол.; $S_{од}$ – площа на одного працюючого (нормативне значення), m^2 ; k_n – коефіцієнт, який враховує одночасне використання працюючими даного приміщення.

Слід зазначити, що фактичне зниження кількості пікових перебувань персоналу на майданчику буде мати результат за умови зменшення кількісного складу санітарно-побутових та адміністративних приміщень. Так, відповідно до табл. 6.1 [6] та [13] розрахункова площа гардеробних - $0,7 m^2/люд$, контори - $4,0 m^2/люд$, при усереднених габаритах санітарно-побутових приміщеннях $10...15 m^2$, зменшення пікової кількості робітників повинно складати $17...21$ чол, адміністративного персоналу - $2...4$ чол.;

б) зміна необхідної площі складських майданчиків - за рахунок зменшення періоду використання (вкладання) матеріалів через уточнення прийнятого методу зведення (наприклад, перехід від методу монтажу з при об'єктного складу до монтажу з «коліс»).

$$S_{скл} = \frac{Q \alpha n k}{T q \beta} \quad (2)$$

де Q – загальна кількість матеріалів, необхідних будівництва; α – коефіцієнт нерівномірного надходження матеріалів на склади; T – тривалість розрахункового періоду, дн.; n – запас матеріалів у днях (нормативний показник); k – коефіцієнт нерівномірності споживання матеріалів; q – кількість матеріалу, що розміщується на $1 m^2$ площі пректованого складу; β – коефіцієнт який характеризує використання склади за площею.

Як видно з формули (2), запас матеріалів, що зберігаються на складі (його площа), залежить від: загальної кількості матеріалів, необхідних для будівництва; тривалість розрахункового періоду; норми запасів матеріалів у днях; коефіцієнтів, що враховують нерівномірність споживання та надходження. Відповідно, оптимізацію площ складу можна виконувати за рахунок варіювання тривалості розрахункового періоду зведення і норм запасів матеріалів.

II. Рациональне планування будівельного генерального плану (операційна ефективність) за рахунок мінімізації відстаней переміщення ресурсів в межах будівельного майданчика [8, 9, 10, 11, 12, 13]. Зокрема, в дослідженні [13] показано, що використання такої методики дозволило знизити операційні витрати на 23% на прикладі конкретного будівельного майданчика.

Необхідна площа будівельного майданчика визначиться, виходячи з залежності:

$$S_H = S_{\text{скл}} + S_{\text{п.м.}} + S_M + S_{\text{м.н.}} + S_D \quad (3)$$

де $S_{\text{скл}}$ – площа необхідна для складування матеріалів і конструкцій, м.кв.; $S_{\text{п.м.}}$ – площа необхідна для розміщення побутового містечка, м.кв.; S_M – площа необхідна для розміщення будівельних машин, м.кв.; $S_{\text{м.н.}}$ – площі, які враховують небезпечні зони при роботі машин, м.кв.; S_D – площа, необхідна для розміщення допоміжних технологічних майданчиків, м.кв.

Варіантне проектування при плануванні будівельного майданчика, вимагає створення різних планувальних моделей і збільшує витрати на проектування. Знизити трудомісткість на цих процесах можна за рахунок створення інформаційних моделей будівельних майданчиків у загальній моделі проекту (Project Information Model - PIM). Питанню формування будівельних майданчиків (construction site layout planning - CSLP) із застосуванням інформаційних технологій приділяється увага у практиці закордонного будівництва [8,9], оскільки це сприяє підвищенню ефективності та якості управління на місці у режимі реального часу. Зазвичай проблема планування – це складна комбінаторна задача оптимізації, що включає кілька цілей, і вона ускладнюється зі збільшенням кількості об'єктів і обмежень на умови виконання робіт. Крім того, процес інформаційного планування будівельного майданчика складний практично, і його моделювання з допомогою методів оптимізації не гарантує створення оптимального варіанту. Методи оптимізації не враховують низки робочих факторів, таких, як взаємозв'язки між окремими елементами будмайданчика, розподіл ресурсів, швидкість виробництва та простої будівельної техніки.

Алгоритми, що застосовуються в технології оптимізації CSLP, можна загалом класифікувати як штучний інтелект (artificial intelligence - AI), еволюційний алгоритм (evolutionary algorithm - EA) і методи ройового

інтелекту (swarm intelligence - SI). Всі ці алгоритми зосереджуються на пошуку рішень поставленої задачі, але не на розробці реальних даних для практичного використання, оскільки часто не враховують всі умови фактичного виробництва (часто спрощуючи їх) та зосереджуються на пошуку компромісних результатів між витратами на організацію майданчика та вимогами безпеки.

Загалом моделі CSLP передбачають зони розміщення елементів будівельного господарства на майданчику з умови мінімізації загальних витрат на зведення, але в практиці розташування цих елементів може залежати й від інших чинників. Наприклад, розташування приміщень для проведення нарад максимально близько до входу на будівельний майданчик з умови мінімального шляху переміщення по території та швидкої евакуації у випадку надзвичайної ситуації. Крім того, такі моделі часто не враховують часовий параметр, пов'язаний зі зміною організаційно-технологічних схем та умов виконання робіт, наприклад, зміна зон заїзду на майданчик і пов'язані з цим подальші заходи (перенесення воріт, доріг, зміна ОДР та ін.).

Висновки. Розвиток інтегрованих інформаційних комплексів повинен ґрунтуватися на можливості враховувати не лише віддалі переміщення ресурсів та кількість робітників, задіяних на виробництві, але й методи зниження необхідних площ санітарно-побутових та адміністративних приміщень. Самі методи оптимізації будівельного генерального плану повинні враховувати взаємозв'язки між окремими елементами будмайданчика, розподіл ресурсів, швидкість виробництва та простої будівельної техніки.

References

1. Anumba, C., and Bishop, G. _1997_. "Importance of safety considerations in site layout and organization." *Can. J. Civ. Eng.*, 24_2_, 229–236.
2. Ushatskyi S.A. *Orhanizatsiia budivnytstva* / S.A. Ushatskyi, Yu.P. Sheiko, H.M. Tryher ta in.. - K.: Kondor, 2007. - 521 s.
3. DBN A.3.1-5-2016 *Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva*. Minrehionbud. Kyiv. (2016). 51 s.
4. *Posibnyk z rozrobky proektiv orhanizatsii budivnytstva i proektiv vykonannya robit* (do DBN A.Z.1-5-96 "Orhanizatsiia budivelnoho vyrobnytstva". Chastyna 1. *Tekhnolohichna ta vykonavcha dokumentatsiia*. Minrehionbud. Kyiv. (1997). 63 s.
5. DBN V.1.2-12-2008 *Budivnytstvo v umovakh ushchilненої zabudovy*. *Vymohy bezpeky*. (2008).
6. DBN A.3.2-2-2009 *Systema standartiv bezpeky pratsi. Okhorona pratsi i promyslova bezpeka u budivnytstvi. Osnovni polozhennia* (NPAOP 45.2-7.02-12). (2012).
7. Shawki K. A Dynamic automated system for site layout planning in Egypt. // *International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, University of Sharjah, 2014, p. 61.
8. Burns P., Merz S. Waste minimization in the construction industry // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*.

9. Xu M., Nie X., Li H., Cheng J., Mei Z. (2022) Smart construction sites: A promising approach to improving on-site HSE management performance. *Journal of Building Engineering*. Vol. 49.
10. Ioanna N. Papadaki, Athanasios P. Chassiakos. Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms. *Procedia Engineering* 164 (2016) 20 – 27.
11. Zavari M., Shahhosseini V., Ardeshir A., Seb M. (2022) Multi-objective optimization of dynamic construction site layout using BIM and GIS. *Journal of Building Engineering*. Vol. 52. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104518>.
12. Yi W., Chi H-L., Wang S. (2018) Mathematical programming models for construction site layout problems. *Automation in Construction*, Vol. 85, Pp 241-248
13. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення.
14. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7135

Література

1. Anumba, C., and Bishop, G. _1997_. "Importance of safety considerations in site layout and organization." *Can. J. Civ. Eng.*, 24_2_, 229–236.
2. Ушацький С.А. Організація будівництва / С.А. Ушацький, Ю.П. Шейко, Г.М. Тригер та ін.. - К.: Кондор, 2007. - 521 с.
3. ДБН А.3.1-5-2016 Організація будівельного виробництва. Мінрегіонбуд. Київ. (2016). 51 с.
4. Посібник з розробки проектів організації будівництва і проектів виконання робіт (до ДБН А.3.1-5-96 "Організація будівельного виробництва". Частина 1. Технологічна та виконавча документація. Мінрегіонбуд. Київ. (1997). 63 с.
5. ДБН В.1.2-12-2008 Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. (2008).
6. ДБН А.3.2-2-2009 Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислової безпеки у будівництві. Основні положення (НПАОП 45.2-7.02-12). (2012).
7. Shawki K. A Dynamic automated system for site layout planning in Egypt. // *International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, University of Sharjah, 2014, p. 61.
8. Burns P., Merz S. Waste minimization in the construction industry // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*.
9. Xu M., Nie X., Li H., Cheng J., Mei Z. (2022) Smart construction sites: A promising approach to improving on-site HSE management performance. *Journal of Building Engineering*. Vol. 49.
10. Ioanna N. Papadaki, Athanasios P. Chassiakos. Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms. *Procedia Engineering* 164 (2016) 20 – 27.
11. Zavari M., Shahhosseini V., Ardeshir A., Seb M. (2022) Multi-objective optimization of dynamic construction site layout using BIM and GIS. *Journal of Building Engineering*. Vol. 52. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104518>.
12. Yi W., Chi H-L., Wang S. (2018) Mathematical programming models for construction site layout problems. *Automation in Construction*, Vol. 85, Pp 241-248
13. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення.
14. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2021/7135