

УДК 69:624.05 [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11\(21\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-11(21)-14)

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РОЗМІЩЕННІ КРАНІВ НА БУДІВЕЛЬНОМУ МАЙДАНЧИКУ

PROSPECTS OF THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE PLACEMENT OF CRANES ON THE CONSTRUCTION SITE

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

Mudryj I.B., Ph.D., Senior Lecturer (National University of Lviv Polytechnic, Lviv)

Виконано аналіз основних світових інформаційних технологій, які використовуються у практиці оптимального планування будівельного майданчика. Визначено основні групи методологій, які використовуються для визначення ефективного розташування баштових кранів на будівельному майданчику з аналізом їх недоліків на основі алгоритмів, які використовуються для їх оптимізації. Запропоновано шляхи підвищення ефективності інформаційного моделювання з розміщення баштових кранів на будівельному майданчику з урахуванням практичного досвіду.

The main focus of this paper is to synthesize the scientific experience regarding the optimization of tower crane placement on a construction site. The research presented in the article revolves around the theme of the effectiveness of information planning for construction sites, particularly in the optimal positioning of tower cranes to enhance work efficiency. The study aims to identify parameters that are often overlooked in modeling based on practical experience.

Improper spatial placement of tower cranes can lead to additional costs and project delays. To enable optimization of the spatial positioning of tower cranes, an analysis of leading-edge information technologies utilized in the practice of optimal construction site planning has been conducted. The use of modern information modeling technologies in conjunction with optimization methods makes the process of tower crane spatial placement more efficient and accurate. These technologies will help determine the spatial placement of all construction resources on the site, ensuring better outcomes for both physical space utilization and machine technical characteristics. The reliance solely on the experience of construction or project organization personnel for decision-making in construction site planning precludes the application of an information-based approach. Through analysis, the main groups of methodologies used to determine the effective placement of tower cranes on construction sites have been identified, along with an examination of their drawbacks based on the algorithms applied for optimization. Ways to enhance the efficiency of information modeling for tower crane placement on construction sites have been proposed to enable the adoption of more precise and effective decisions.

Ключові слова: будівельний майданчик, схеми розташування кранів, оптимізація розташування, алгоритм оптимізації, баштові крани, планування будівельного майданчика, інформаційні технології.

Keywords: construction site, crane location schemes, location optimization, optimization algorithm, tower cranes, construction site planning, information technology

Вступ. Правильна організація будівельного майданчика, зокрема, раціональне розташування кранового обладнання визначить ефективність реалізації проекту в цілому. Планування послідовності використання кранів починається на ранніх етапах будівельних проектів і служить основою для прийняття подальших рішень, як для динамічних, так і для статичних моделей будівельних майданчиків. Однак через структуру факторів, що визначають параметри ділянки, таке планування часто є складним і неефективним. Неоптимальний вибір просторового розміщення баштового крана може призвести до додаткових витрат і затримок реалізації проекту. Тому ефективне планування має вирішальне значення для оптимізації використання простору майданчика та впливає на безпеку та продуктивність будівельних процесів [1, 2].

Ефективне планування будівельного майданчика може бути досягнуто за рахунок зменшення площі, яку займають ресурси на будівництві, та мінімізації їх непродуктивних переміщень [3]. Аналіз наукових досліджень [4, 5, 6], спрямованих на зменшення витрат, через оптимізацію прийнятих рішень під час проектування будівельних генеральних планів, показує існування двох основних напрямків:

1) мінімізація площ об'єктів будівельного майданчика за рахунок ефективного використання ресурсів:

- зменшення максимальної кількості робітників, і, відповідно, зниження необхідних площ адміністративних та побутових приміщень;
- зменшення необхідної площі складських майданчиків через зміну періоду використання матеріалів;

2) раціональне планування будівельного майданчика для забезпечення операційної ефективності, що передбачає мінімізацію відстаней переміщення ресурсів. Це може бути досягнуто шляхом ефективного розміщення вантажопідйомного обладнання, зокрема, баштових кранів, з урахуванням доступних під'їзних шляхів та місць для їх монтажу і демонтажу.

Таким чином, оптимізація будівельного майданчика є багатоваріантною та трудомісткою задачею, що збільшує затрати на проектування. Зменшити кількість варіантів дозволяє використання інтелектуальних систем проектування. На вітчизняному ринку більшість будівельних компаній не займаються оцінкою ефективності планування будівельного майданчика, а рішення приймаються на основі досвіду чи

застарілих методів. Такий стан суттєво впливає на економічність та ефективність реалізації проекту в цілому.

Мета. Провести аналіз основних моделей, що застосовуються для оптимізації будівельних майданчиків, з визначенням параметрів, які не враховуються при математичному моделюванні, зокрема, при виборі місць розташування баштових кранів, на основі практичного досвіду.

Аналіз досліджень. Існують різні моделі [7-19], що спрямовані на пошук оптимальних рішень щодо вибору та розташування кранів на будівельному майданчику. Зазвичай ці моделі можна розділити на три основні групи, які відрізняються у методології вирішення:

1) інформаційне моделювання – використовується при просторовому плануванні ділянки і включає симуляцію поведінки всіх технологічних елементів будівельного майданчика. Ці моделі дозволяють здійснювати візуальний моніторинг управління, але не враховують тип та характеристики використовуваних машин і не проводять пошук оптимального варіанту просторового розміщення кранів;

2) математичне моделювання – ґрунтується на пошуку необхідних значень цільової функції з урахуванням заданих обмежень. Більшість таких моделей використовують алгоритми, що імітують природні процеси, розглядаючи процеси попиту та пропозиції матеріалів, які переміщуються баштовим краном;

3) моделі, що використовують генетичні алгоритми, досліджують оптимальне розташування баштових кранів з метою збалансування робочих операцій між різними механізмами для мінімізації можливих конфліктів та досягнення максимальної ефективності роботи. Початково модель формує групи завдань та вибирає розташування машин з урахуванням геометричних показників.

У практиці здійснення оптимального планування будівельного майданчика з урахуванням комплексного керування питаннями охорони здоров'я, безпеки та екології, зокрема, застосуванням інтелектуальних технологій, часто отримує обмежену увагу. Зазвичай таке планування покладається на інженера-проектувальника, який враховує чинні нормативи та власний професійний досвід.

Варіантне проектування будівельного майданчика вимагає створення різних планувальних моделей, що збільшує витрати на проектування. Будівельні майданчики мають різну форму, і елементи, які розташовуються на вільних площах, можуть мати різні параметри, що не завжди дозволяє їх оптимально розмістити, особливо в умовах обмеженого простору.

Вибір місця розташування баштового крана повинен базуватися на мінімізації загальної вартості його експлуатації та максимізації його використання, як в часі, так і за вантажними параметрами. Такий вибір має задовольнити як експлуатаційні обмеження, так і обмеження умов майданчика.

Виклад основного матеріалу. Задачі планування будівельного майданчика зазвичай включають в себе розміщення тимчасових об'єктів та баштових кранів на ділянці будівництва таким чином, щоб оптимізувати цілі планування та враховувати обмеження з охорони праці та безпеки навколишнього середовища. Планування будівельного майданчика є складною комбінаторною задачею оптимізації, що включає кілька цілей та ускладнюється зі зростанням кількості об'єктів і обмежень на умови виконання робіт.

Питанню проектування майданчиків будівництва (construction site layout planning - CSLP) з використанням інформаційних технологій моделювання приділяється увага у практиці [5, 6], оскільки це сприяє підвищенню ефективності та якості управління проектом на місці у режимі реального часу. Процес інформаційного планування будівельного майданчика є складним практично і його моделювання за допомогою методів оптимізації не завжди гарантує створення ефективного варіанту. На рис. 1 показаний порядок оптимізації будівельних майданчиків з чотирьох кроків, починаючи від вхідних даних, визначення цілей, процесу (алгоритму) оптимізації та вихідного етапу (прийняття рішень). У практиці використовують різні алгоритми для технології оптимізації CSLP, які можна узагальнити наступним чином:

1) штучний інтелект (AI) [12]. AI застосовується для аналізу різних варіантів розміщення об'єктів на будівельному майданчику та вибору оптимального варіанту;

2) еволюційний алгоритм (EA) [6, 13]. Застосовується для пошуку найкращих варіантів розміщення об'єктів на будівельному майданчику шляхом ітеративного покращення;

3) алгоритм світлячків (FA) [10, 19]. Використовується для оптимізації розташування об'єктів на будівельному майданчику;

4) методи ройового інтелекту (SI). Застосовуються для оптимізації розташування об'єктів на будівельному майданчику, враховуючи різноманітні фактори, такі як загальні витрати на зведення, безпека та ефективність виробництва.

Аналіз даних методів оптимізації показує, що вони не враховують низки поточних факторів, таких як: розподіл ресурсів, взаємозв'язки між певними елементами будівельного майданчика, швидкість виробництва, простої будівельної техніки та ін.

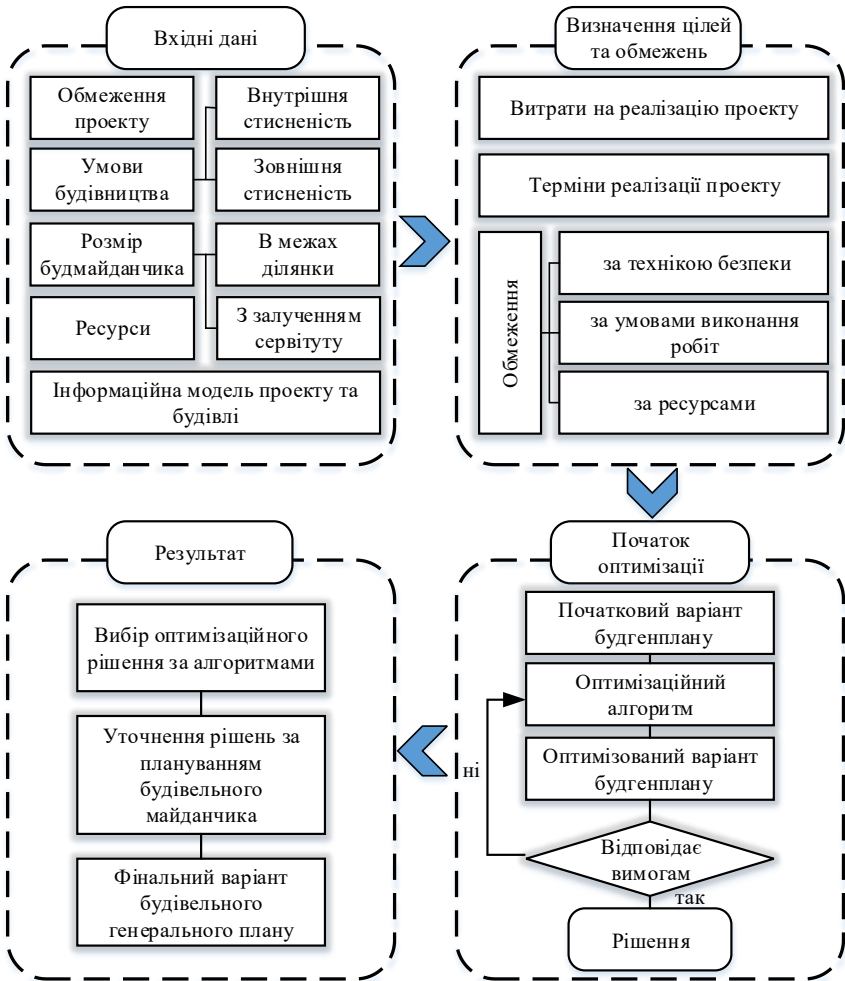


Рисунок 1 – Порядок покрокового пошуку оптимального рішення з планування будівельного майданчика.

Усі вищезазначені алгоритми спрямовані на пошук вирішення поставленої задачі, проте не на створення реальних даних для практичного використання, оскільки часто не ураховують усі умови фактичного виробництва, частково їх спрощуючи. Вони фокусуються на пошуку компромісних рішень між витратами на організацію майданчика чи виконання робіт та вимогами до безпеки робіт. Загалом, моделі CSLP

передбачають зони розміщення елементів будівельного господарства на майданчику з метою мінімізації загальних витрат на будівництво, проте на практиці розташування цих елементів може залежати від різних чинників. Також не враховують часові параметри та чинники, пов'язані з організаційно-технологічними схемами та умовами виконання робіт.

Вибір схеми розташування баштового крана на будівельному майданчику часто ґрунтується на досвіді фахівців будівельної та проектної організації. Хоча існують розрахункові методи для знаходження оптимального їх розташування, але вони можуть бути складними та трудомісткими, зокрема, у вітчизняній практиці використовують методик:

- за ступенем використання порівнюваних кранів за вантажною площею;
- за позиціонуванням всіх монтажних елементів відносно баштового крана, вибором параметрів крана на основі максимальної маси монтажних елементів та вибором самого крана відповідно до вантажного моменту;
- за визначенням «критичних» елементів, які враховують монтажну вагу з урахуванням відстані до подачі елемента;
- за аналізом монтажних характеристик об'єкта з використанням графо-аналітичного методу залежно від вантажопідйомності, радіусу дії і висоти підйому гака крана;
- за показником різномоментності конструктивного рішення.

У більшості випадків пошук оптимального розташування крана є типовою технічною задачею, проте для кожного конкретного будівельного майданчика вона може вимагати індивідуального підходу та розрахунків. Способи початкового розміщення баштового крана на будівельному майданчику з використанням інформаційних технологій переважно використовують два підходи:

1. мінімізація площі спільної роботи баштових кранів [15]. Цей підхід спрямований на мінімізацію конфліктів між робочими зонами кранів. Шляхом інтеграції геоінформаційних систем і технологій моделювання будівель (BIM - Building Information Modeling), можна визначити оптимальне розташування кранів, що дозволяє мінімізувати взаємний вплив їхніх робочих зон. Це дозволяє підвищити продуктивність будівельного процесу та зменшити час на виробництво;

2. мінімізація часу на роботу баштового крана [13]. Оптимізуються робочі рухи крана з метою мінімізації часу переміщення конструкцій та матеріалів. Використання алгоритмів оптимізації, на основі збалансування пропозиції та попиту на матеріали в межах будівництва, що дозволяє ефективніше розподіляти завдання та зменшувати час на перевезення матеріалів. Ці два підходи використовуються окремо або комбіновано для визначення оптимального розташування баштового крана та підвищення продуктивності будівельного процесу.

Окремі наукові дослідження пропонують інші підходи для вибору оптимального розташування баштових кранів на будівельному майданчику:

1) сукупне використання генетичних алгоритмів та інформаційного моделювання будівель [18]. Цей підхід передбачає використання генетичних алгоритмів для пошуку оптимальних рішень щодо типу та розташування баштових кранів на основі інформаційного моделювання будівель. Він дозволяє автоматично створювати планувальні рішення, що враховують особливості конкретного будівельного проекту та мінімізують витрати та час виконання робіт;

2) використання інтегрованих методів BIM та програмних комплексів CAD [20]. Ці підходи використовують інтегровані методи BIM для аналізу та оптимізації будівельного процесу. Вони базуються на імпорті IFC (Industry Foundation Classes) моделей та використовують обчислювальні алгоритми для автоматичного створення оптимальних планів розташування баштових кранів;

3) використання систем автоматизованого проектування (САПР) та геоінформаційних систем (GIS) [21]. Ці комплекси поєднують у собі системи автоматизованого проектування та геоінформаційні системи для визначення оптимального розташування кранів та точок зберігання матеріалів на будівельному майданчику.

Проведений аналіз показує, що більшість оптимізаційних моделей недостатньо враховують реалістичні умови будівництва, особливо це стосується правильності вибору точок постачання та подачі (позиціонування) матеріалів і спрямовані на мінімізацію вартості переміщення ресурсів баштовими кранами. Поглиблення подальших досліджень у сфері оптимального планування будівельних майданчиків з використання методів інтелектуальної оптимізації дозволить приймати точніші та ефективніші рішення. Однак створення оптимальної моделі буде вимагати врахування всіх чинників, які можуть впливати на просторове розміщення баштових кранів та і їх взаємодію з навколишніми умовами.

Висновки. Використання сучасних технологій інформаційного моделювання у поєднанні з методами оптимізації може зробити процес просторового розміщення баштових кранів більш ефективним і точним, однак для ефективної реалізації такої методики додатково будуть потрібні:

1) розробка розширених моделей з урахуванням реалістичних умов. Необхідно створювати моделі, які враховують додаткові умови, такі як можливість коригування довжини стріл баштових кранів, паралельне зведення груп будинків за різною висотою, тощо. Ці моделі можуть бути побудовані на основі реальних (динамічних) обмежень та вимог проекту;

2) адаптація оптимізаційних моделей. Необхідно адаптувати існуючі оптимізаційні моделі для врахування оперативних змін у процесі будівництва, візуалізації в режимі реального часу за допомогою BIM та

розширених функцій просторового запиту. Це дозволить удосконалити моделі та зробити їх більш реалістичними та ефективними;

3) врахування додаткових технологічних машин та обладнання. Необхідно врахувати можливість використання додаткових машин, таких як самохідні крани, для оперативних потреб будівництва. Це може забезпечити гнучкіше та ефективніше управління ресурсами на будівельному майданчику;

4) інтеграція додаткових функцій та аналіз впливу. Розробка систем, які надають розширену функціональність, таку як аналіз впливу додаткових машин на ефективність використання основних баштових кранів, може допомогти врахувати інші фактори та оптимізувати роботу будівельного майданчика.

References

1. Mudryi I. B. Znyzhennia vytrat pry planuvanni budivelnykh maidanchykyv // *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi* : zbirnyk naukovykh prats. – 2023. – Vyp. 19.– Pp. 117–123.
2. Mudryi I. B. Perspektyvy vykorystannia tekhnolohii informatsiinoho modeliuvannia pry rozrobtsi proektiv orhanizatsii budivnytstva // *Naukovyi visnyk budivnytstva*. – 2020. – Vol. 100, № 2. – Pp. 132–137.
3. 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.
4. Muralidhar P. Analysis on improving operational efficiency of construction project site. 2018. Vol. 9 No. 3: *Independent Journal of Management & Production*.
5. Xu M., Nie X., Li H., Cheng J., Mei Z. Smart construction sites: A promising approach to improving on-site HSE management performance. *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 49.
6. Ioanna N. Papadaki, Athanasios P. Chassiakos. Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms. *Procedia Engineering*. 2016. 164. Pp/ 20 – 27.
7. C. Huang, C. Wong, C. Tam. Optimization of tower crane and material supply locations in a high-rise building site by mixed-integer linear programming. 2011.
8. Roya Amiri, Javad Majrouhi Sardroud, Vahid Momenaei Kermani. Decision support system for tower crane location and material supply point in construction sites using an integer linear programming model. 2022.
9. A. Kaveh, Y. Vazirinia. Optimization of Tower Crane Location and Material Quantity Between Supply and Demand Points: A Comparative Study. 2018.
10. Cong Liu, Fangqing Zhang, Xiaojian Han, Hongyu Ye, Zanxi Shi, Jie Zhang, Tiankuo Wang, Jianjun She, Tianyue Zhang. Intelligent Optimization of Tower Crane Location and Layout Based on Firefly Algorithm. 2022
11. Mona Salah, R. Khallaf. Construction Site Layout Planning: A Social Network Analysis. 2023.
12. Dung Bui, N. D. Bui. Optimize location tower crane and supply facilities on construction site by discrete PSO algorithm. 2023.

13. C. Tam, T. K. Tong, and W. K. Chan. Genetic algorithm for optimizing supply locations around tower crane. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2001. vol. 127, no. 4, pp. 315–321.
14. J. Wang, X. Zhang, W. Shou et al. A BIM-based approach for automated tower crane layout planning. *Automation in Construction*, vol. 59, pp. 168–178, 2015.
15. P. Zhang, F. C. Harris, P. Olomolaiye, and G. D. Holt. Location optimization for a group of tower cranes. *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 125, no. 2, pp. 115–122. 1999.
16. A. Younes and M. Marzouk. Tower cranes layout planning using agent-based simulation considering activity conflicts. *Automation in Construction*, vol. 93, pp. 348–360. 2018.
17. H M. Alabool, D. Alarabiat, L. Abualigah, and A A. Heidari. Harris hawks optimization: a comprehensive review of recent variants and applications,” *Neural Computing & Applications*, vol. 33, no. 15, pp. 8939–8980. 2021.
18. Z. S. Moussavi Nadoushani, A. W. Hammad, and A. Akbarnezhad. Location optimization of tower crane and allocation of material supply points in a construction site considering operating and rental costs. [J] *Journal of Construction Engineering Management*, vol. 143, no. 1. 2017.
19. C. Liu, F. Zhang, X. Han, H. Ye, Z. Shi, . Zhang, T. Wang, J. She, T. Zhang. Intelligent optimization of tower crane location and layout based on firefly algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022.
20. S. Curry, Autodesk infrastructure solutions, CAD GIS Critical tools, Critical Links, white paper, vol. 1. 2003.
21. Van Oosterom, P. J. M., Stoter, J. E., & Jansen, E. Bridging the worlds of CAD and GIS. In S. Zlatanova, & D. Proserpi (Eds.), *Large-scale 3D data integration: challenges and opportunities* (pp. 9-36). CRC Press (Taylor & Francis). 2006.

Література

1. Мудрий І.Б. Зниження витрат при плануванні будівельних майданчиків // *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: збірник наукових праць. Луцьк – 2023. – Вип. 19. – С. 117–123.*
2. Мудрий І.Б. Перспективи використання технологій інформаційного моделювання при розробці проектів організації будівництва // *Науковий вісник будівництва. Львів – 2020. – Вип. 100, № 2. – С. 132–137.*
3. 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.
4. Muralidhar P. Analysis on improving operational efficiency of construction project site. 2018. Vol. 9 No. 3: *Independent Journal of Management & Production*.
5. Xu M., Nie X., Li H., Cheng J., Mei Z. Smart construction sites: A promising approach to improving on-site HSE management performance. *Journal of Building Engineering*. 2022. Vol. 49.
6. Ioanna N. Papadaki, Athanasios P. Chassiakos. Multi-objective construction site layout planning using genetic algorithms. *Procedia Engineering*. 2016. 164. Pp/ 20 – 27.
7. C. Huang, C. Wong, C. Tam. Optimization of tower crane and material supply locations in a high-rise building site by mixed-integer linear programming. 2011.

8. Roya Amiri, Javad Majrouhi Sardroud, Vahid Momenaei Kermani. Decision support system for tower crane location and material supply point in construction sites using an integer linear programming model. 2022.
9. A. Kaveh, Y. Vazirinia. Optimization of Tower Crane Location and Material Quantity Between Supply and Demand Points: A Comparative Study. 2018.
10. Cong Liu, Fangqing Zhang, Xiaojian Han, Hongyu Ye, Zanxi Shi, Jie Zhang, Tiankuo Wang, Jianjun She, Tianyue Zhang. Intelligent Optimization of Tower Crane Location and Layout Based on Firefly Algorithm. 2022
11. Mona Salah, R. Khallaf. Construction Site Layout Planning: A Social Network Analysis. 2023.
12. Dung Bui, N. D. Bui. Optimize location tower crane and supply facilities on construction site by discrete PSO algorithm. 2023.
13. C. Tam, T. K. Tong, and W. K. Chan. Genetic algorithm for optimizing supply locations around tower crane. Journal of Construction Engineering and Management, 2001. vol. 127, no. 4, pp. 315–321.
14. J. Wang, X. Zhang, W. Shou et al. A BIM-based approach for automated tower crane layout planning,” Automation in Construction, vol. 59, pp. 168–178, 2015.
15. P. Zhang, F. C. Harris, P. Olomolaiye, and G. D. Holt. Location optimization for a group of tower cranes. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 125, no. 2, pp. 115–122. 1999.
16. A. Younes and M. Marzouk. Tower cranes layout planning using agent-based simulation considering activity conflicts. Automation in Construction, vol. 93, pp. 348–360. 2018
17. H M. Alabool, D. Alarabiat, L. Abualigah, and A A. Heidari. Harris hawks optimization: a comprehensive review of recent variants and applications,” Neural Computing & Applications, vol. 33, no. 15, pp. 8939–8980. 2021.
18. Z. S. Moussavi Nadoushani, A. W. Hammad, and A. Akbarnezhad. Location optimization of tower crane and allocation of material supply points in a construction site considering operating and rental costs,” [J] Journal of Construction Engineering Management, vol. 143, no. 1. 2017.
19. C. Liu, F. Zhang, X. Han, H. Ye, Z. Shi, . Zhang, T. Wang, J. She, T. Zhang. Intelligent optimization of tower crane location and layout based on firefly algorithm. Computational Intelligence and Neuroscience. 2022.
20. S. Curry, Autodesk infrastructure solutions, CAD GIS Critical tools, Critical Links, white paper, vol. 1. 2003.
21. Van Oosterom, P. J. M., Stoter, J. E., & Jansen, E. Bridging the worlds of CAD and GIS. In S. Zlatanova, & D. Prospero (Eds.), Large-scale 3D data integration: challenges and opportunities (pp. 9-36). CRC Press (Taylor & Francis). 2006.