

АНОТАЦІЯ

Бочевар К.І. ЕФЕКТИВНІ РІШЕННЯ БУДІВНИЦТВА ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЗНІМНОЇ ОПАЛУБКИ – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія. – Одеська державна академія будівництва та архітектури, Одеса, 2024.

В роботі вирішено основне завдання пошуку найбільш ефективних організаційно-технологічних рішень будівництва житлових комплексів з використанням незнімної опалубки.

Поставлене завдання вирішено за допомогою застосування сучасних програмних комплексів шляхом:

- розробки нових конструктивно-технологічних рішень зведення огорожувальних конструкцій житлових комплексів з використанням незнімної опалубки (патенти на корисні моделі «Стіна будівлі» (UA 149402) та «Система каркасної незнімної опалубки» (UA 154847));
- визначення ефективності застосування відомих та розробленого конструктивно-технологічних рішень зведення огорожувальних конструкцій житлових комплексів з використанням незнімної опалубки за допомогою методики багатокритеріального аналізу;
- організаційно-технологічного моделювання процесів будівництва та експериментально-статистичного моделювання закономірностей зміни основних показників при варіюванні факторів, що досліджувались;
- оптимізації організаційно-технологічних рішень зведення житлових комплексів за допомогою накладення діючих обмежень та аналізу визначених залежностей.

В дисертаційному дослідженні виконаний аналіз відкритих інформаційних джерел. В результаті встановлено 12 найбільш розповсюджених конструктивно-технологічних рішень зведення огорожувальних конструкцій будівель з використанням незнімної опалубки.

Виконано аналіз відомих методів та методик, що можливо використовувати для пошуку найбільш ефективних рішень при організаційно-технологічному моделюванні процесів будівництва житлових комплексів з використанням незнімної опалубки.

Для досягнення поставленої мети, на основі сформульованої наукової гіпотези розроблена загальна методика проведення дисертаційного дослідження. Вона включає в себе методи вирішення окремих задач:

- методику багатокритеріального аналізу для визначення ефективності конструктивно-технологічних рішень зведення огорожувальних конструкцій житлових комплексів з використанням незнімної опалубки (з використанням спеціалізованого функціоналу програмного комплексу Microsoft Excel);
- методику проведення експериментально-статистичного моделювання процесу зведення житлового комплексу з використанням незнімної опалубки в програмному комплексі COMPEX;
- методи створення організаційно-технологічних та економічних моделей зведення житлових комплексів в програмних комплексах Microsoft Project та АВК-5.

За алгоритмом та положеннями методики багатокритеріального аналізу в рамках дисертаційного дослідження визначено ефективність застосування кожного з 12-ти порівнюваних конструктивно-технологічних рішень зведення огорожувальних конструкцій будівель з використанням незнімної опалубки. Аналіз ступеню ефективності застосування цих рішень проводився з використанням спеціалізованих інструментів програмного комплексу Microsoft Excel: «зведена таблиця» та «зведена діаграма». Порівняння 12-ти рішень відбувалось за 7-ма кількісними та одним якісним критеріями ефективності. Критерії ефективності варіювались у таких межах:

кількісні:

- «товщина» - від 320 до 640 мм;
- «опір теплопередачі» - від 3,53 до 4,03 (м²·К)/Вт;

- «вага 1 м²» - від 300 до 580 кг;
- «площа приміщень при зовнішніх розмірах будинку 10x10 м» - від 76,0 до 87,1 м²;
- «вартість» - від 2380 до 4730 грн/м²;
- «довговічність» - від 80 до 100 років;
- «усадка матеріалу» - від 1 до 2 %;

якісні:

- «стійкість до утворення цвілі, гниття і руйнування» - мав значення «стійка» та «разова обробка».

За результатами проведеного багатокритеріального аналізу 12-ти конструкторно-технологічних рішень зведення огорожувальних конструкцій житлових комплексів з використанням незнімної опалубки за 8-ма критеріями обрано найбільш ефективне рішення – «патент UA № 149402 «Стіна будівлі»».

Для проведення чисельного моделювання процесів зведення житлового комплексу з використанням найбільш ефективного конструкторно-технологічного рішення «патент UA № 149402 «Стіна будівлі»» обрано основні показники ефективності: «тривалість будівництва (Y₁)», «середня інтенсивність фінансування (Y_{2,1})» та «максимальна інтенсивність фінансування (Y_{2,2})», «вартість будівництва (Y₃)», «рентабельність (Y₄)». Обрано фактори, що здійснюють найбільший вплив на основні показники ефективності: «суміщеність робіт (X₁)» та «кількість робочих годин на тиждень (X₂)».

Згідно теорії планування експериментів для чисельного моделювання закономірностей зміни показників ефективності обрано 9-ти точковий план проведення експерименту, що надає змогу отримати адекватні (достовірні) результати за допомогою 9-ти експериментальних точок.

Значення факторів, що впливають на обрані показники ефективності коливаються в межах:

- «суміщеність робіт (X₁)» від 74,61 до 85,21 %;
- «кількість робочих годин на тиждень (X₂)» від 40 до 80 год.

Згідно положень загальної методики дисертаційного дослідження для проведення чисельного моделювання процесів будівництва обґрунтовано обрання житлового комплексу «Авіньйон». Він розташований в м. Одеса. Фундаменти - пальові, огорожувальні конструкції комплексу виконано з використанням рішення «патент UA № 149402 «Стіна будівлі»», комплекс складається з двох «О»-подібних корпусів та має 46,24 тис. м² житлової площі. На основі аналізу проектних рішень житлового комплексу «Авіньйон» було складено перелік робіт з його будівництва в технологічній послідовності. З використанням цього переліку робіт, згідно обраного плану експерименту, в програмному комплексі АВК-5 побудовано 9 кошторисних розрахунків. В програмному комплексі Microsoft Project побудовано 9 графіків виконання робіт з використанням найбільш ефективного конструктивно-технологічного рішення «патент UA № 149402 «Стіна будівлі»» серед усіх порівнюваних.

В результаті побудови моделей згідно обраного плану експерименту знайдено значення основних показників ефективності («тривалість будівництва (Y_1)»), «середня інтенсивність фінансування ($Y_{2,1}$)»), «максимальна інтенсивність фінансування ($Y_{2,2}$)»), «вартість будівництва (Y_3)») та «рентабельність (Y_4)») зведення житлового комплексу при зміні досліджених факторів («суміщеність робіт (X_1)») та «кількість робочих годин на тиждень (X_2)») в обраних межах їх варіювання.

На основі отриманих даних виконано експериментально-статистичне моделювання в програмному комплексі COMPEX. За результатами проведеного моделювання встановлено закономірності зміни основних показників ефективності при варіюванні найбільш значущих факторів, що на них впливають. Вони інтерпретовані у вигляді аналітичних та графічних залежностей. Графічні залежності, що отримані у програмному комплексі COMPEX бали оброблені за допомогою графічного редактора CorelDrawX6. Це значно покращило їх візуалізацію та вигляд закономірностей.

Аналіз отриманих за допомогою експериментально-статистичного моделювання закономірностей дозволив провести якісну оцінку та визначити

характер залежності показників ефективності від факторів, що на них впливають. А саме: визначено рівень впливу кожного з факторів на досліджувані показники ефективності за допомогою побудованого в програмному комплексі COMPEX ранжування факторів за рівнем їх значущості; виконано аналіз побудованих в програмному комплексі COMPEX одно- та двох- факторних діаграми впливу факторів на основні показники ефективності.

Експериментально-статистичне моделювання зміни основних показників зведення житлового комплексу «Авіньйон» з використанням незнімної опалубки, дозволило виявити наступне. При зміні факторів у межах простору варіювання згідно з обраним планом експерименту (значень факторів «суміщеність робіт X_1 » та «кількість робочих годин на тиждень X_2 ») основні показники ефективності змінюються наступним чином:

- «тривалість будівництва (Y_1)» з 272 до 958 днів;
- «середня інтенсивність фінансування ($Y_{2,1}$)» з 16,316 млн. грн. до 56,744 млн. грн. на місяць;
- «максимальна інтенсивність фінансування ($Y_{2,2}$)» з 17,327 млн. грн. до 61,173 млн. грн. на місяць;
- «вартість будівництва (Y_3)» 514,483 млн. грн. до 521,007 млн. грн.;
- «вартість будівництва з урахуванням залучення кредитних коштів ($Y_{3к}$)» 632,485 млн. грн. до 805,268 млн. грн.;
- «рентабельність Y_4 » від 11,39 % до 41,82 %.

Для планування фінансування будівництва житлового комплексу «Авіньйон» було введено діюче обмеження. Сутність введеного діючого обмеження – в необхідності використання кредитних коштів під час фінансування будівництва.

За результатами аналізу отриманих закономірностей та проведеної оптимізації (шляхом введення діючого обмеження) визначено найбільш ефективну організаційно-технологічну модель (графік виконання робіт) зведення житлового комплексу з використанням незнімної опалубки. Вона

отримана при поєднанні факторів: «суміщеність робіт (X_1)» та «кількість робочих годин на тиждень (X_2)» відповідно на значеннях $X_1 = 85,21\%$ та $X_2 = 80$ год. При цьому значення показників ефективності складають:

- «тривалість будівництва (Y_1)» $Y_1 = 272$ дні;
- «середня інтенсивність фінансування ($Y_{2,1}$)» та «максимальна інтенсивність фінансування ($Y_{2,2}$)» відповідно $Y_{2,1} = 56,744$ млн. грн./міс. та $Y_{2,2} = 61,173$ млн. грн./міс.;
- «вартість будівництва з урахуванням залучення кредитних коштів ($Y_{3к}$)» $Y_{3к} = 632,485$ млн. грн. (з урахуванням відсотків за залученими кредитними коштами);
- «рентабельність (Y_4)» будівництва $Y_4 = 41,82\%$.

За результатами розрахунку техніко-економічної ефективності проведеного чисельного моделювання та оптимізації визначено, що у порівнянні з базовим (проектним) рішенням: тривалість будівництва житлового комплексу знижено на $71,6\%$; середню та максимальну інтенсивність фінансування підвищено відповідно на $71,2\%$ та $71,7\%$; загальну вартість будівництва з урахуванням залучення кредитних коштів знижено на $21,5\%$; рентабельність будівництва підвищено з $11,39\%$ до $41,82\%$.

Ефективність використання результатів дисертаційного дослідження підтверджена позитивною практикою їх впровадження у виробничу діяльність ряду будівельних підприємств.

Результати досліджень впроваджено в освітній процес та наукову роботу Одеської державної академії будівництва та архітектури при розробці навчально-методичного забезпечення, проведенні науково-технічних досліджень за договором № 4538а від 5 червня 2020 р. та підготовленні заявок на отримання грантів на науково-дослідні роботи.

Матеріали дисертаційного дослідження пройшли апробацію шляхом їх публікування в 11 друкованих роботах та виступах на наукових конференціях.

За результатами досліджень розроблено та отримано 2 патенти («Стіна будівлі» (UA 149402) та «Система каркасної незнімної опалубки» (UA 154847)), рекомендації для пошуку найбільш ефективних рішень зведення житлових комплексів з використанням незнімної опалубки та технологічну карту на влаштування огорожувальних конструкцій 3-х поверхових таунхаусів з використанням найбільш ефективного конструкторно-технологічного рішення - патент UA 149402 «Стіна будівлі».

Практична значимість результатів дисертаційного дослідження полягає у визначенні поєднань значень факторів для отримання найбільш ефективної організаційно-технологічної моделі зведення житлових комплексів з використанням незнімної опалубки з урахуванням діючих обмежень власних коштів. За результатами дисертаційного дослідження розроблено рекомендації з їх використання, технологічну карту на влаштування огорожувальних конструкцій 3-х поверхових таунхаусів з використанням найбільш ефективного конструкторно-технологічного рішення - патент UA 149402 «Стіна будівлі» та отримано 2 патенти на нові конструкторно-технологічні рішення, які апробовано в умовах реального будівництва – «Стіна будівлі» (UA 149402) та «Система каркасної незнімної опалубки» (UA 154847)).

Ключові слова: економічні, організаційно-технологічні та конструкторні рішення будівництва житлових комплексів, незнімна опалубка, чисельне моделювання, оптимізація, пошук ефективних рішень.

ABSTRACT

Bochevar K.I. EFFECTIVE SOLUTIONS FOR THE CONSTRUCTION OF RESIDENTIAL COMPLEXES USING FIXED FORMWORK - Qualifying scientific work with manuscript rights.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 Construction and civil engineering. - Odesa State Academy of Construction and Architecture, Odesa, 2024.

The work solves the main task of finding the most effective organizational and technological solutions for the construction of residential complexes using frame fixed formwork.

The task was solved using modern software complexes by:

- development of new structural and technological solutions for erecting enclosing structures of residential complexes using fixed formwork (patents for useful models «Wall of the building » (UA 149402) and «System of frame fixed formwork» (UA 154847));
- determination of the effectiveness of the application of known and developed structural and technological solutions for erecting enclosing structures of residential complexes using fixed formwork according to the methodology of multi-criteria analysis;
- organizational-technological modeling of construction processes and experimental-statistical modeling of the patterns of changes in the main indicators when the studied factors are varied;
- optimization of organizational and technological solutions for the construction of residential complexes using the imposition of current restrictions and analysis of determined dependencies.

An analysis of open information sources is performed in the dissertation study. As a result, 12 of the most common structural and technological solutions for erecting building enclosing structures using fixed formwork were established. An analysis of known methods and techniques was performed, which can be used to find the most effective solutions in organizational and technological modeling of the processes of building residential complexes using fixed formwork.

To achieve the set goal, a general methodology for conducting a dissertation research was developed on the basis of the formulated scientific hypothesis. It includes methods for solving individual problems:

- the method of multi-criteria analysis to determine the effectiveness of constructive and technological solutions for erecting enclosing structures of

- residential complexes using fixed formwork (using the specialized functionality of the Microsoft Excel software complex);
- the methodology of conducting experimental and statistical modeling of the process of building a residential complex using fixed formwork in the COMPEX software complex;
 - methods of creating organizational, technological and economic models for the construction of residential complexes in Microsoft Project and AVK-5 software complexes.

By using the algorithm and the provisions of the multi-criteria analysis method, the effectiveness of the application of each of the 12 compared constructive and technological solutions for erecting building enclosing structures using fixed formwork. The analysis of the degree of effectiveness of the application of these solutions was carried out using specialized tools of the Microsoft Excel software package: «summary table» and «summary diagram». The comparison of 12 decisions was based on 7 quantitative ones and one qualitative efficiency criteria. The efficiency criteria varied within the following limits:

quantitative:

- «thickness» - from 320 to 640 mm;
- «heat transfer resistance» - from 3.53 to 4.03 (m²·K)/W;
- «weight of 1 m²» - from 300 to 580 kg;
- «area of premises with external dimensions of the house 10x10 m» - from 76.0 to 87.1 m²;
- «cost» - from 2380 to 4730 UAH/m²;
- «longevity» - from 80 to 100 years;
- «material shrinkage» - from 1 to 2%;

quality:

- «resistance to the formation of mold, decay and destruction» - had the meaning of «resistant» and «one-time treatment».

According to the results of a multi-criteria analysis of 12 constructive and technological solutions for erecting enclosing structures of residential complexes

using fixed formwork, the most effective solution was chosen according to 8 criteria - «UA patent № 149402 «Wall of the building»».

To carry out numerical simulation of the processes of building a residential complex using the most effective structural and technological solution «UA patent № 149402 «Wall of the building»» the main efficiency indicators were selected: "construction duration (Y_1)», «average financing intensity ($Y_{2,1}$)» and «maximum financing intensity ($Y_{2,2}$)», «construction cost (Y_3)», «profitability (Y_4)». The factors that exert the greatest influence on the main performance indicators were selected: «combination of work (X_1)» and «number of working hours per week (X_2)».

According to the theory of experiment planning, a 9-point experiment plan was chosen for numerical modeling of patterns of changes in efficiency indicators, which makes it possible to obtain adequate (reliable) results with the help of 9 experimental points.

The values of the factors influencing the selected performance indicators vary within:

- «combination of works (X_1)» from 74.61 to 85.21%;
- «number of working hours per week (X_2)» from 40 to 80 hours.

According to the provisions of the general methodology of the dissertation research, the selection of the residential complex «Avignon» for numerical modeling of construction processes is justified. It is located in Odessa. The foundations are piles, the enclosing structures of the complex are made using the solution «UA patent № 149402 «Wall of the building »», the complex consists of two «O»-shaped buildings and has 46.24 thousand m² of living space. Based on the analysis of project decisions of the residential complex «Avinion» a list of works on its construction in technological sequence was compiled. With the use of this list of works, according to the selected experiment plan, 9 estimated calculations were built in the AVK-5 software complex. In the Microsoft Project software complex, 9 work execution schedules were built using the most effective structural and technological solution «UA patent № 149402 «Wall of the building»» among all compared.

As a result of the construction of models according to the selected experimental plan, the values of the main efficiency indicators («duration of construction (Y_1)», «average intensity of financing ($Y_{2,1}$)», «maximum intensity of financing ($Y_{2,2}$)»), «cost of construction (Y_3)» were found and «profitability (Y_4)» of the construction of a residential complex when changing the studied factors («combination of work (X_1)» and «number of working hours per week (X_2)») within the selected limits of their variation.

Based on the obtained data, experimental and statistical modeling was performed in the COMPEX software complex. As a result of the conducted modeling, the regularities of changes in the main performance indicators when varying the most significant factors affecting them were established. They are interpreted in the form of analytical and graphical dependencies. Graphic dependencies obtained in the COMPEX software complex were processed using the CorelDrawX6 graphics editor. This greatly improved their visualization and appearance of patterns.

The analysis of patterns obtained with the help of experimental and statistical modeling made it possible to carry out a qualitative assessment and determine the nature of the dependence of efficiency indicators on the factors affecting them. Namely: the level of influence of each of the factors on the investigated efficiency indicators is determined using the ranking of factors by their level of significance built in the COMPEX software complex; the analysis of one- and two-factor diagrams of the influence of factors on the main performance indicators built in the COMPEX software complex was performed.

Experimental and statistical modeling of changes in the main indicators of the construction of the residential complex «Avinion» with the use of fixed formwork, made it possible to reveal the following. When changing the factors within the range of variation according to the selected experimental plan (values of the factors «combination of work X_1 » and «number of working hours per week X_2 »), the main efficiency indicators change as follows:

- «construction duration (Y_1)» from 272 to 958 days;

- «average financing intensity ($Y_{2.1}$)» from 16.316 up to 56.744 million UAH/month;
- «maximum financing intensity ($Y_{2.2}$)» from 17.327 up to 61.173 million UAH/month;
- «construction cost (Y_3)» 514.483 up to 521.007 million UAH;
- «construction cost, taking into account the involvement of credit funds (Y_{3k})» 632.485 up to 805.268 million UAH;
- « Y_4 profitability» from 11.39% to 41.82%.

A current restriction was introduced to plan the financing of the construction of the Avignon residential complex. The essence of the introduced current restriction is the need to use credit funds during construction financing.

According to the results of the analysis of the obtained regularities and the optimization (by introducing the current limitation), the most effective organizational and technological model (work schedule) for the construction of a residential complex using fixed formwork was determined. It was obtained by combining the factors: «combination of work (X_1)» and «number of working hours per week (X_2)», respectively, at the values of $X_1 = 85.21\%$ and $X_2 = 80$ hours. At the same time, the values of efficiency indicators are:

- «construction duration (Y_1)» $Y_1 = 272$ days;
- «average intensity of financing ($Y_{2.1}$)» and «maximum intensity of financing ($Y_{2.2}$)», respectively $Y_{2.1} = 56.744$ million UAH/month and $Y_{2.2} = 61.173$ million UAH/month;
- «cost of construction taking into account the involvement of credit funds (Y_{3k})» $Y_{3k} = 632.485$ million UAH (taking into account the interest on borrowed funds);
- «profitability (Y_4)» of construction $Y_4 = 41.82\%$.

Based on the results of calculating the technical and economic efficiency of the conducted numerical modeling and optimization, it was determined that in comparison with the basic (project) solution: the duration of the construction of the residential complex was reduced by 71.6%; the average and maximum funding

intensity increased by 71.2% and 71.7%, respectively; the total cost of construction, taking into account the involvement of credit funds, was reduced by 21.5%; profitability of construction increased from 11.39% to 41.82%.

The effectiveness of using the results of the dissertation research is confirmed by the positive practice of their implementation in the production activities of a number of construction enterprises.

The results of the research were implemented in the educational process and scientific work of the Odesa State Academy of Construction and Architecture in the development of educational and methodological support, the implementation of scientific and technical research under contract No. 4538a dated June 5, 2020, and the preparation of applications for receiving grants for scientific research works.

The materials of the dissertation research were approved by their publication in 11 printed works and presentations at scientific conferences.

Based on the results of the research, 2 patents were developed («Wall of the building UA 149402» and «System of frame fixed formwork UA 154847»), recommendations for finding the most effective solutions for the construction of residential complexes using fixed formwork and a technological map for the arrangement of walls 3- x storey townhouses using the most effective constructive and technological solution - «patent UA 149402 «Wall of the building»».

The practical significance of the results of the dissertation research consists in determining the combinations of factor values to obtain the most effective organizational and technological model for the construction of residential complexes using fixed formwork, taking into account the current limitations of own funds. According to the results of the dissertation research, recommendations for their use, a technological map for arranging the walls of 3-story townhouses using the most effective constructive and technological solution - «patent UA 149402 «Wall of the building»» and 2 new constructive and technological solutions that have been tested in real construction conditions have been developed - «Wall of the building» (UA 149402) and «System of frame fixed formwork» (UA 154847)».

Keywords: economic, organizational-technological, and constructive solutions for the construction of residential complexes, non-removable formwork, numerical modeling, optimization, search for efficient solutions.