

2. Баладинский В.Л. Динамическое разрушение грунтов. – К.: изд-во КГУ. 1971.
3. Артоболовский И.И. Теория механизмов Издательство «НАУКА» М. 1967 г.

УДК 005.584.1:658.2+658.5

Доненко В.І.<sup>1</sup>

## ОБНОВЛЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ПЛАНУВАННЯ ОСВОЄННЯ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА З УРАХУВАННЯМ РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ПІДРОЗДІЛАМИ БУДІВЕЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ

**Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими завданнями.** З переходом України до моделі відкритої ринкової конкуренції, істотно змінилися і ускладнилися умови реалізації та освоєння проектів будівельної галузі, що викликано, як збільшенням різноманітності організаційно-управлінських форм впливу на середовище проекту, так і змінами законодавчої та фінансово-економічної сторін функціонування ринку будівельних послуг. Безумовно, вищезазначені тенденції впливають на діяльність будівельних організацій та підприємств, по-перше на якість проектних рішень, які багато в чому визнають можливість застосування ефективних технологічних процесів. Поряд із собівартістю будівельно-монтажних робіт і тривалістю будівництва на стадії проектування формується вектор основних показників діяльності будівельних підприємств.

Задача оптимального розподілу робіт між підрозділами будівельного підприємства виникає в тому випадку, коли в організації є декілька підрозділів, які мають у своєму розпорядженні ресурси одного виду та потрібно розподілити обсяги БМР між підрозділами, так щоб забезпечити максимально рівномірне завантаження всіх підрозділів.

Таким чином, на стадії планування виникає потреба оптимального розміщення робіт між підрозділами будівельного підприємства та створення такої методології, що дозволить підприємству перебудувати свою стратегію і тактику таким чином, щоб вижити і отримати підсумковий позитивний результат своїх дій.

**Аналіз літературних джерел.** При розв'язанні проблем пошуку ресурсно-календарних планів освоєння об'єктів будівництва підрядними організаціям, що представлені в випадку. Тоді рівень завантаження (перевантаження) підрозділу  $i$  можна оцінити величиною:

$$\Psi_i = \check{O}_i^{-1} \sum_j v_i \cdot k(ij) \quad (1)$$

Задача полягає в розподілі робіт за підрозділами так, щоб мінімізувати:

даній роботі використовувались, насамперед, результати узагальнень, наведені в наступних роботах: Антипенка Є. Ю. [1], Белокопя А. І., Бушуєва С. Д. [2], Доненко В.І. [3], Кірноса В. М., Лагутіна Г. В. [6], Млодецького В.Р. [4], Поколенка В. О. [6], Радкевича А. В., Тугая О. А. [7], Тяна Р. Б. [5], Ушацького С. А., Шутенка Л. М., а також в роботах їх учнів. Вони довели, що метод організації робіт може виступати як параметр варіації при оптимізації календарних планів реалізації робіт. Для простих критеріїв існують методи, в яких апіорі закладено оптимізаційний принцип формування календарних планів, до таких можна віднести метод критичного шляху, який знаходить мінімум загальної тривалості робіт, і методи з безперервним використанням ресурсів і фронтів робіт [1]. Проте, можна також навести чимало методів, щодо яких апіорі неможливо визначити їх оптимальність навіть по відношенню до простих (загальноприйнятих) критеріїв.

**Мета дослідження** полягає у розробці моделі розподілу організаційно-технологічного навантаження між підрозділами будівельної організації з врахуванням її у методиці побудови та оптимального плану освоєння будівельних проектів організацією-підрядником.

### Основний матеріал дослідження.

Для вирішення задач дослідження, припустимо, що у будівельній організації є  $x$  підрозділів, які мають потужності ресурсів одного виду для виконання БМР. Позначимо  $\check{O}_i$  обсяг робіт, який може виконати  $i$ -ий підрозділ,  $O_i$  – обсяг  $i$ -ої роботи,  $i = (1, h)$ . Потрібно розподілити роботи між підрозділами, так, щоб завантаження підрозділів (або їх перевантаження) було максимально рівномірним. Позначимо  $k(ij) = 1$  якщо  $i$ -а робота виконується підрозділом  $j$ ,  $k(ij) = 0$  у противному

$$\min \leftarrow \max_i \check{O}_i^{-1} \sum_j v_i \cdot k(ij) \quad (2)$$

Розглянемо спочатку окремий випадок, коли  $\check{O}_i = \check{O}$  для всіх  $i$ . У цьому випадку задача, що розглядається зводиться до класичної «задачі про каміння».

<sup>1</sup> Доненко В.І., к.т.н., доц. (ЗДІА, м. Запоріжжя).

Розглянемо постановку «задачі про каміння». Є  $h$  «каменів» різної ваги. Потрібно розбити їх на  $n$  груп (куп) так, щоб максимальна вага каменів у групі була мінімальною. Задача про каміння має численні варіанти застосування (рівномірний розподіл робіт між виконавцями, функції за підрозділами організаційної структури і т.д.) [3]. Дамо формалізовану постановку даної задачі.

**Задача 1.** Позначимо через  $\Omega_i$  - вагу 1-го каменя,  $k(ij)=1$  якщо камінь  $i$  потрапив в  $j$ -у купу,  $k(ij)=0$  у протилежному випадку. Сумарна вага каменів у  $j$ -й групі дорівнює:

$$\Pi_j = \sum_i \Omega_i \cdot k(ij) \quad (3)$$

Максимальна вага групи:

$$\Pi = \max_j \sum_i \Omega_i \cdot k(ij) \Rightarrow \min \quad (4)$$

Оскільки кожен камінь повинен бути розміщений тільки в одну групу, маємо обмеження:

$$\sum_j k(ij) = 1, i = (1, h) \quad (5)$$

Задача полягає в мінімізації (4) при обмеженнях (5). Розглянемо допоміжну задачу такого вигляду:

**Задача 2.** Фіксуємо допустиму вагу кожної групи  $\Pi$  і сформулюємо наступну задачу: максимізувати суму ваги каменів, що розміщено у ящиках місткістю  $\Pi$ :

$$F = \sum_{i,j} \Omega_i \cdot k(ij) \Rightarrow \max \quad (6)$$

при обмеженнях:

$$\sum_i \Omega_i \cdot k(ij) \leq \Pi, j = (1, n) \quad (7)$$

Зв'язок між задачами (4) - (5) і (5) - (7) очевидний. Мінімальна  $\Pi$ , при якому в оптимальному вирішенні задачі 2 розміщені всі камені, визначає оптимальне рішення задачі 1.

Спочатку формується сітьове представлення [1] задачі 2, для випадку  $h=3, n=2$ . Оскільки структура сітьового подання має вигляд сітки, а не дерева, то для побудови оціночної задачі розділяємо кожну вершину, нижнього рівня на дві вершини.

Аналогічно для кожної вершини нижнього рівня все ділимо на дві частини  $r_i$  і  $b_i$  так, щоб:

$$r_i + b_i = \Omega_i, \forall(i, j) \quad (8)$$

Таким чином, розглянемо наступні дві задачі.

**Перша задача.** Визначити  $k(ij)$  так, щоб максимізувати:

Фіксуємо величину  $Q$  і визначаємо максимальний номер  $l$  такий, що  $Q \leq A_l$ . Розглядаємо наступну задачу лінійного програмування у якій необхідно визначити  $0 \leq m(i) \leq \eta_i, i = (1, l)$ , та мінімізується наступна цільова функція:

$$\max \leftarrow \sum_{i,j} r_{ij} \cdot k(ij) \quad (9)$$

при обмеженнях (5).

**Друга задача.** Максимізувати:

$$\max \leftarrow \sum_{i,j} b_{ij} \cdot k(ij) \quad (10)$$

при обмеженнях (7).

Позначимо  $\Phi_{opt}(r)$  та  $B_{opt}(b)$  оптимальні рішення першої та другої задач при заданих  $r$  і  $b$ . Оціночна задача полягає у визначенні  $\{r_i\}$  і  $\{b_i\}$ , які мінімізують:

$$\Psi(r, b) = \Phi_{opt}(r) + B_{opt}(b) \quad (11)$$

при обмеженні (8).

Зазначимо, по-перше, що в оптимальних рішеннях першої та другої задач можна прийняти:  $r_{ij} = m(i), b_{ij} = \eta_i - m(i), j = (1, n)$

По-друге, рішення першої задачі вочевидь:

$$\Phi_{opt}(k) = \sum_i m(i) \quad (12)$$

По-третє, рішення  $n$  других задач при заданих  $\{m(i)\}$  зводиться до вирішення однієї задачі про ранець: визначити  $k(i) = (0, 1)$ , які максимізують:

$$\sum_i k(i) \cdot (\eta_i - m(i)) \quad (13)$$

при обмеженні:

$$\sum_i k(i) \cdot \eta_i \leq \Pi \quad (14)$$

Вирішимо задачу (13) і (14) при  $m(i) = 0, i = (1, h)$ .

Позначимо через  $M(\check{O}) = M(\check{O}_i)$  множину векторів  $k$ , які задовольняють умові (14) та упорядковані за убуттям при  $A_j = \sum \eta_i | i \in M(\check{O}_j), X_j = \sum m(i) | i \in M(\check{O}_j)$ , тоді:

$$Q = \max_j (A_j - X_j) \quad (15)$$

Зазначимо, що при заданих  $\{m(i)\}$   $Q$  визначає оптимальне рішення кожної з  $m$  других задач. Оцінка (11) при цьому дорівнює:

$$\Psi(m) = n \cdot Q + \sum_i m(i) \quad (16)$$

де  $m(i) \geq 0$  задовольняють нерівностям:

$$A_j \leq \sum m(i) + Q | i \in M(\check{O}_j), j = (1, K) \quad (17)$$

де  $K$  - число різних рішень нерівності (14). Таким чином, задача звелася до визначення  $0 \leq m(i) \leq \eta_i, i = (1, h)$  та  $0 \leq Q \leq A_l$  які максимізують (16) при обмеженнях (17), а це звичайна задача лінійного програмування, для якої існує безліч методів вирішення.

$$X(Q) = \sum_i m(i) \Rightarrow \min \quad (18)$$

при обмеженнях (17), де  $j = (1, l)$ . Двоїста задача при цьому буде мати наступний вигляд, коли необхідно визначити  $r_i \geq 0, j = (1, l)$ , при макси-

мізації  $\sum_{j=1}^l (A_j - Q) \cdot r_j$  та обмеженнях:

$\sum r_i \leq 1 \quad | j \in M(P_i), j=(1, h)$ , де  $M(P_i)$  - безліч  $j$ , містять камінь  $i$ .

Позначимо через  $X_0(Q)$  мінімальне значення  $X(Q)$ . Оціночна задача зводиться до мінімізації функції одного змінного:

$$X_0(Q) + n \cdot Q \rightarrow \min \quad (19)$$

Беремо  $P_0 = H/n$ , де  $H = \sum_i \eta_i$ , і вирішуємо

задачу 2. Якщо  $F_{\max}(P_0) < H$ , то збільшуємо  $P_0$  до  $P_1$  так, щоб з'явився хоча б один новий вектор  $M(\check{O}_j)$ . Якщо  $F_{\max}(P_1) < H$ , то продовжуємо збільшення  $P$  до тих пір, поки не отримаємо величину  $P_1$  таку, що  $F_{\max}(P_1) \geq H$ . Величина  $P_1$  є нижньою оцінкою для задачі 1.

Таким чином, доведено, що розглянута оптимізаційна задача практично зводиться до вирішення задачі розподілу ресурсів та для її вирішення можна застосувати метод меж і гілок, що буде покладено в основу запропонованої методики раціонального освоєння об'єктів будівництва. В першу чергу, за основу покладено той факт, що при будь-якому об'єднанні будівельних об'єктів в комплекс на порядок їх освоєння накладаються топологічні обмеження. Облік цих обмежень, з одного боку, зменшує обчислювальну складність розв'язуваної задачі, а з іншого боку збільшує її алгоритмічну складність.

Наприклад, прибудоване приміщення не може бути побудовано раніше основного об'єкта, або для того, щоб побудувати «вставку», необхідно завершити роботи по 2-х основних об'єктах. Тут має місце конструктивно-технологічна залежність послідовності будівництва об'єктів. Іншим типом обмеження може стати експлуатаційна залежність, наприклад, будівництво деякого соціального об'єкта, може залежати від черговості введення житла та інше. Можливо і обмеження на абсолютне значення черговості будівництва того чи іншого об'єкта, наприклад, об'єкт, що має третій індекс, повинен бути побудований у першу чергу. Тобто, обчислювальна складність задач комбінаторної оптимізації різко зростає зі збільшенням числа об'єктів, але вона також різко зменшується зі збільшенням числа обмежень.

Запропонований інструментарій складається із розробленого алгоритму оптимізації черговості освоєння об'єктів з урахуванням обмежень на порядок їх освоєння та моделі розподілу організаційно-технологічного навантаження між підрозділами будівельної організації.

Блок-схема розробленої методики комбінаторної оптимізації представлена на рис.1. У загальному вигляді методика містить в собі 11 функціональних етапів:

1. Формування матриці тривалостей БМР кожного об'єкту.
2. Формування матриці абсолютних обмежень.
3. Формування матриці відносних обмежень.
4. Формування загального масиву перестановок.
5. Ітераційний підпроцес вилучення альтернатив із загального масиву перестановок, які не задовольняють абсолютним обмеженням.
6. Ітераційний підпроцес вилучення альтернатив із загального масиву перестановок, які не задовольняють відносним обмеженням.
7. Формування матриць-альтернатив допустимих перестановок.
8. Розрахунок матриць-варіантів за заданим методом організації БМР.
9. Розрахунок базисних оціночних критеріїв для матриць-варіантів організації БМР об'єктів.
10. Визначення масивів, що відповідають екстремальній черговості робіт.
11. Формування остаточного ресурсно-календарного плану освоєння будівельних об'єктів з урахуванням організаційно-технологічного навантаження між підрозділами будівельної організації.

Наведемо детальніший аналіз окремих етапів розробленого алгоритму запропонованої методики комбінаторної оптимізації.

*Етап 1 - Формування матриці тривалостей робіт.* Позначимо тривалість  $j$ -ої роботи на  $i$ -му об'єкті через  $P_{ij}$ .

Оскільки відомо, що встановлення черговості регламентується проводити в проекті організації будівництва і рекомендується при цьому використовувати норми тривалості будівництва, то у відповідність з цим визначаємо обов'язковий діапазон видів робіт відповідними індексами. Індекси фронтів робіт, визначимо діапазоном від 1 до 8. В якості одиниці вимірювання тривалості робіт використовуємо усереднений календарний місяць, у якому міститься 21 робочий день.

*Етап 2 – Формування матриці абсолютних обмежень.* Матриця цього етапу містить рядки, що визначають черговість освоєння об'єктів, в діапазоні від 1 до 8 і стовпці, що визначають закріплення об'єктів за абсолютними чергами.

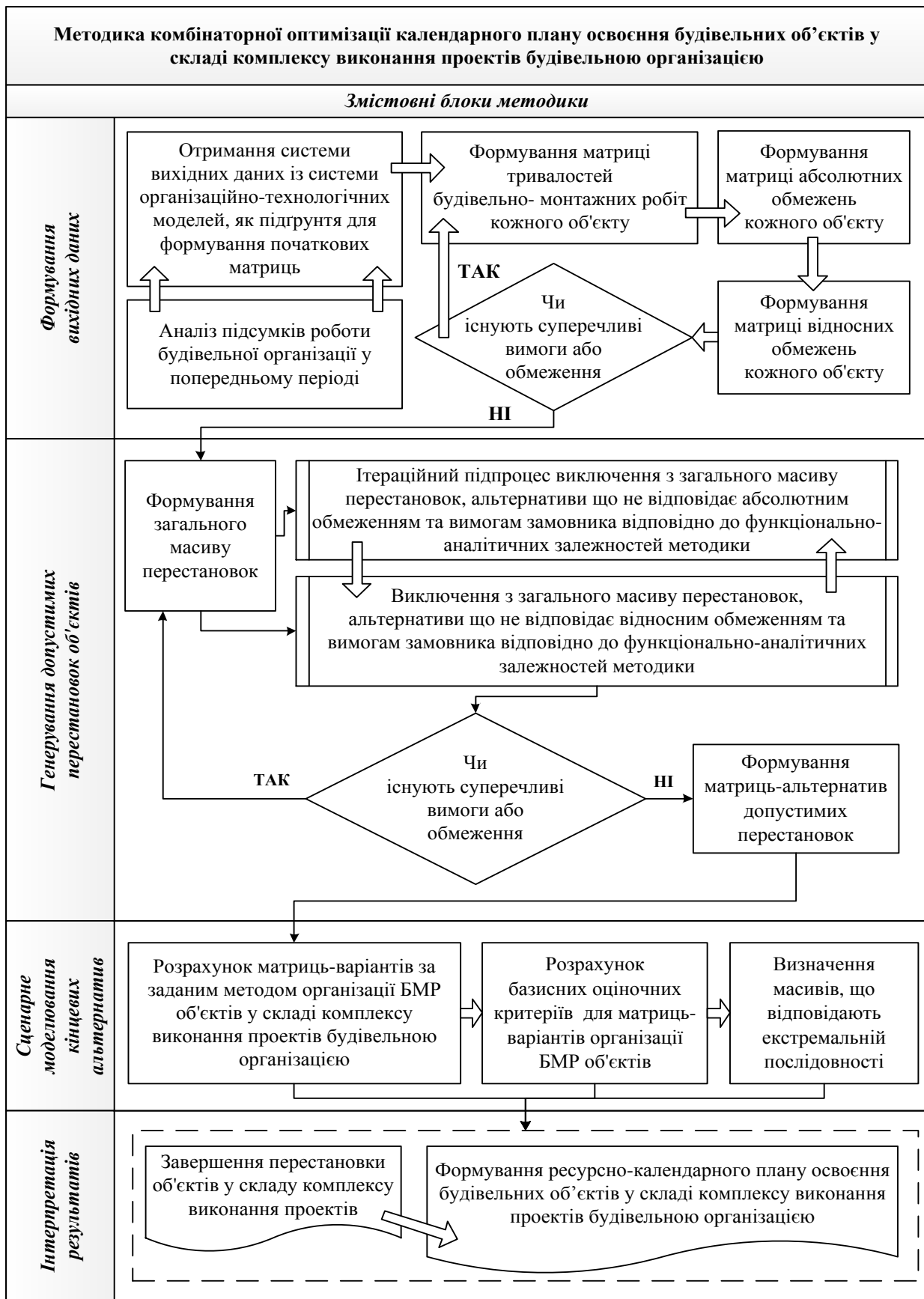


Рис. 1. Принципова блок-схема комбінаторної оптимізації календарного плану освоєння будівельних об'єктів у складі комплексу виконання проектів будівельною організацією.

Належність об'єкту заданій черзі визначається булевою змінною  $B_{3jk}$ , яка може мати кількісну інтерпретацію:  $1$  – є приналежність,  $0$  - приналежності немає. Так як однієї черги може належати не більше одного об'єкта, а одному об'єкту може відповідати не більше однієї черги, то, отже, перевірка логічної правильності вказівки абсолютних місць у черзі буде визначатися наступними умовами: суми булевих змінних по рядках і одночасно по стовпцях не повинні перевищувати одиницю. Якщо це не виконується, то абсолютні обмеження суперечливі і потрібно повернення до їх редагування.

*Етап 3 - Формування матриці відносних обмежень.* Матриця цього етапу містить рядки, що визначають попередні об'єкти, і стовпці, що визначають наступні об'єкти. Бінарне (для двох об'єктів) відношення передування визначає, що будівництво одного з об'єктів має розпочатися раніше будівництва іншого об'єкта, при цьому не визначається, наскільки раніше. Перевірка логічної коректності здійснюється після виконання шостого етапу. Це пов'язано зі створенням процедури, що має мінімальну алгоритмічну складність. Насправді, якщо відносні обмеження суперечливі, то це призведе до того, що число допустимих варіантів дорівнюватиме нулю і тоді стає зрозумілим джерело цього протиріччя.

*Етап 4 – Формування загального масиву перестановок.* Дана процедура є початковою в блоці – генерування допустимих перестановок об'єктів. Формування загального масиву проходить без урахування топологічних обмежень для визначеного матрицею тривалостей робіт загального числа об'єктів. Алгоритм формування зводиться до наступних операцій. Для числа об'єктів  $\bar{U} = 1$ , число перестановок дорівнює одиниці. Для числа об'єктів  $\bar{U} = 2$  число перестановок визначається додаванням 2-го індексу праворуч і ліворуч від попереднього фронту, тобто, отримуємо 2 перестановки  $1 < 2$  і  $2 > 1$ . Для числа фронтів  $\bar{U} = 3$  додаємо третій індекс зліва, справа і в середину кожної з 2-х попередніх послідовностей і отримуємо 6 перестановок:  $3 < 1 < 2$ ,  $1 < 3 < 2$ ,  $1 < 2 < 3$ ,  $3 < 2 < 1$ ,  $2 < 3 < 1$ ,  $2 < 1 < 3$ . І так далі - до заданого числа фронтів робіт (об'єктів).

*Етап 5 – Ітераційний підпроцес вилучення альтернатив із загального масиву перестановок, які не задовольняють абсолютним обмеженням.* Відповідно до даної процедури, здійснюється порядковий перегляд матриці, що визначає абсолютні місця у загальній черзі. Якщо переглянуте місце закріплено за об'єктом, то із загального масиву перестановок виключаються всі варіанти, які не задовольняють цій умові. Алгоритмічно це відповідає постановці унікальної мітки для виключеного варіанту. Процедура повторюється по всіх заданим чергам, залежних від загального числа об'єктів будівельного комплексу.

*Етап 6 - Ітераційний підпроцес вилучення альтернатив із загального масиву перестановок, які не задовольняють відносним обмеженням.* Відповідно до даної процедури, здійснюється порядковий перегляд матриці, що визначає відносні місця. Якщо в масиві загальних перестановок не задовольняється умова передування, то даний варіант виключається за допомогою постановки унікальної мітки (аналогічно попередньому етапу). Процедура повторюється по всім заданим елементам матриці відносних обмежень, що залежать від загального числа об'єктів будівельного комплексу.

*Етап 7 - Формування матриць-альтернатив допустимих перестановок.* Відповідно до даної процедури, на підставі масиву припустимих перестановок формуються матриці-розкладу робіт, що розраховуються за заданим методом організації робіт у восьмому етапі. Формування проводиться за допомогою закріплення тривалостей робіт за кожним об'єктом на місці, визначеному припустимим варіантом перестановки фронтів робіт. Перед цим етапом здійснюється процедура встановлення допустимого числа варіантів, згідно з якою визначається логічна коректність відносних обмежень. Якщо коректність не підтверджується, то відбувається повернення до етапу редагування відносних обмежень.

*Етап 8 - Розрахунок матриць-варіантів допустимих перестановок за заданим методом організації БМР.* Відповідно до даної процедури необхідно визначитися з методом розрахунку організації робіт. Розроблений алгоритм орієнтований на його використання в комп'ютерних прикладних програмах, розрахунок ресурсно-календарних планів у яких здійснюється на основі методу критичного шляху. Проте, згідно даного методу розрахунку можуть виникати перерви при плануванні виконання робіт всередині окремих об'єктів. На цю обставину звернуто увагу в роботі [3] і для ліквідації даного негативного ефекту запропоновано використовувати метод з безперервним освоєнням фронтів робіт, тому у розробленому алгоритмі запропоновано об'єднати переваги обох методів.

Згідно норм тривалості будівництва житлових і громадських будівель та аналізу підсумків роботи будівельних організацій при виконанні БМР, роботи зі зведення надземної частини будівлі мають найбільшу тривалість. З цього маємо, що переважно ці роботи будуть входити в так званий критичний шлях. Отже, для того щоб забезпечити безперервність виконання робіт на кожному об'єкті необхідно і достатньо накласти наступні обмеження. Терміни виконання підготовчих та підземних робіт потрібно планувати як можна раніше, а терміни виконання оздоблювальних робіт потрібно планувати як можна пізніше. При виконанні цих обмежень метод критичного шляху та

метод безперервного освоєння фронтів робіт повністю конвергують між собою.

*Етап 9 – Розрахунок базисних оціночних критеріїв для матриць-варіантів організації БМР об'єктів.* Якщо обмежитися критерієм загальної тривалості комплексу робіт, то, з урахуванням специфіки розглянутої задачі, для нього можна розробити нескладний ефективний оптимізаційний алгоритм. Проте, якщо орієнтуватися на багатокритеріальність сучасного організаційно-економічного середовища проекту, то створення універсального і водночас ефективного алгоритму - задача досить складна. Тому необхідно скористатись алгоритмом повного перебору варіантів робіт. Це означає, що кожен варіант може бути оцінений за допомогою розроблених критеріїв.

*Етап 10 – Визначення масивів, що відповідають екстремальній черговості робіт.* На даному етапі визначаються всі варіанти екстремальних перестановок, тобто такі, що відповідають максимальним та мінімальним значеннями базисних оціночних критеріїв. Разом з цим визначається і повне число екстремальних варіантів.

*Етап 11 – Формування остаточного ресурсно-календарного плану освоєння будівельних об'єктів з урахуванням організаційно-технологічного навантаження між підрозділами будівельної організації.* Остаточним етапом є завершення перестановки об'єктів у складу комплексу виконання проектів та формування ресурсно-календарного плану освоєння будівельних об'єктів у складі комплексу виконання проектів будівельною організацією.

## Висновки

Наведений аналіз показав, що однією зі складових успішного розвитку будівельної організації є здатність побудови ефективних планів розвитку, що ґрунтуються на раціональній та виваженій стратегії розвитку та участі і виконанні запланованих будівельних проектів. Сформульована в статті модель оптимального розподілу БМР між підрозділами будівельної організації забезпечує максимально рівномірне навантаження всіх її підрозділів. Запропонований підхід відрізняється врахуванням продуктивності кожної одиниці ресурсів, що використовуються, дозволяє досягти найбільш близького до рівномірного розподілу ресурсів будівельної організації та застосовувати його при створенні методики побудови та визначенні оптимального плану освоєння будівельних проектів організацією-підрядником, з урахуванням наявності зовнішніх обмежень та впливу екзогенного середовища.

## Література

1. *Антипенко Є.Ю.* Організаційно-технологічне моделювання підготовки та впровадження будівельних проектів: Монографія / Є.Ю. Антипенко. – Запоріжжя: Вид-тво «РДЦ Дизайн Груп», 2010. – 386 с.
2. *Бушуев С.Д.* Креативные технологии в управлении проектами и программами / С.Д. Бушуев, Н.С. Бушуева, И.А. Бабаев и др. – К.: Саммит книга, 2010. - 768 с.
3. *Доненко В.І.* Науково-теоретичні основи адаптації організації підготовки будівництва / В.І. Доненко // Ежегодный научно-технический сборник «Современные проблемы строительства». – Донецк: Донецкий Пром-стройНИИпроект, - 2010. - №13. - С.47-54.
4. *Млодецкий В.Р.* Управленческая реализуемость строительных проектов. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2005. – 262 с.
5. *Основы конкурентных преимуществ и инновационного развития: монография / Б.И. Холод, В.А. Ткаченко, Р.Б. Тянь и др. - Д.: Монолит, 2008. - 475 с.*
6. *Теоретичні основи, методологія та практика ухвалення управлінських рішень у будівництві / В.О. Поколенко, О.А. Тугай, Г.В. Лагутін та ін. // Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин. - К.: КНУБА, 2008. - Вип.18. - С. 71-89.*
7. *Тугай О.А.* Система адаптації організації будівництва до євростандартів: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.23.08 / О.А. Тугай; Харк. держ. техн. ун-т буд-ва та архіт. - Х.: ХДТУ БА, 2008. - 33 с.