УДК 69.06:658.012.2

А. В. РАДКЕВИЧ, В. Ф. ХУДЕНКО (ДІІТ)

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ РОЗПОДІЛУ ОБМЕЖЕНИХ ТРУДОВИХ РЕСУРСІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

Під час організації відновлення навіть окремих об’єктів виникають великі труднощі з розподілом ресурсів. Дослідження призначено відшукати оптимальні варіанти розподілу трудових ресурсів.

При организации восстановления даже отдельных объектов возникают большие трудности с распределением ресурсов. Исследованиее предназначено для поиска оптимальных вариантов распределения трудовых ресурсов.

In organization of renewal of even some construction objects, there may be great difficulties with distribution of resources. This study aims at a search of optimal options of distribution of labours resources.

Виходячи з технологічної можливості сучасної будівельної фірми, оскільки визначення оптимальної тривалості відновлення окремого об’єкта не може розглядатися як самостійна задача без урахування організації робіт з виконання виробничої програми (її обсягів, технології виконання робіт, з одного боку, та ресурсів будівельної фірми, яка виконує роботи, – з іншого). Визначення оптимальної стратегії відновлення окремого об’єкта залежить від оптимальної організації робіт з реалізації виробничої програми.

Діяльність будівельних фірм в сучасних умовах не може будуватися інакше як за єдиною моделлю, мета якої – скласти графік робіт для різних виконавців з обов’язковим зазначенням строків початку та закінчення робіт, а також кількості необхідних ресурсів для їх виконання. Для цього може бути побудована нескінченна множина допустимих розв’язків, що різняться варіантами розподілу наявних ресурсів, строками виконання робіт тощо. Тому основним завданням є – отримати таке рішення, яке найкраще відповідає конкретній виробничій ситуації та поставленій меті.

Практика показує, що вироблення рішень з виконання робіт на окремих об’єктах не забезпечує потрібної координації в діяльності будівельної фірми та не дозволяє досягти ефективності в масштабі організації, яку можна отримати при збалансованому функціонуванні окремих, але взаємопов’язаних частин, які дають вищу загальну ефективність, ніж їх сумарна ефективність (синергетична характеристика).

Невдачі, пов’язані з розробкою моделей відновлення окремих об’єктів, викликають необхідність моделювання виробничої програми низової організації та на цій основі раціонального розподілу наявних ресурсів. Залежно від поставленої мети та прийнятих критеріїв оптимальності розроблена класифікація постановок задач з раціональним розподілом ресурсів (рисунок).

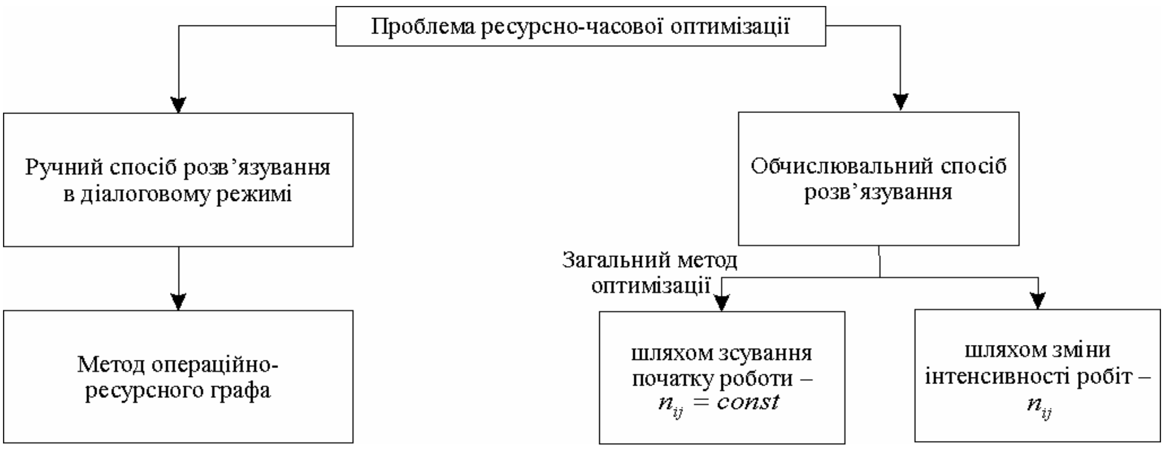

Рис. Шляхи вирішення проблеми РЧО

Відшукування оптимального варіанту зводиться до визначення доцільних режимів виконання різних комплексів робіт при заданих технологічних і організаційних обмеженнях. У практиці виконання робіт на вибір режимів впливають такі фактори: наявність трудових ресурсів і фронту робіт по об'єктах, склад і спеціалізація будівельних бригад для відновлення різних об'єктів, концентрація капітального відновлення, задані строки відновлення об'єктів, змінність робіт.

Виходячи з конкретних умов діяльності будівельної організації, структури робіт, конструктивних особливостей об'єктів, необхідно встановити не один режим виконання робіт, а деякий діапазон, у межах якого можна «стиснути» або «розтягнути» роботи в часі шляхом зміни швидкості їх виконання, узгодженої з кінцевою метою діяльності будівельної організації.

Режим виконання робіт встановлюють відповідальні виконавці на основі наведених факторів. Але досвід свідчить, що комплектація бригад часто носить випадковий характер і не відповідає рекомендаціям нормативно-дослідних інстанцій. У конкретних випадках доцільно об'єктивно встановити кількість виконавців (бригад, ланок) для виконання різних робіт у сітьовій моделі. Тому варіанти концентрації ресурсів і наявний фронт робіт є обмеженнями на формування режимів виконання робіт.

Проблема ресурсно-часової організації (РЧО) полягає в такому розподілі виконавців за окремими роботами, щоб в будь-який час потреба в них не перевищувала їх обмеженої кількості, а тривалість сітьового процесу була мінімальною. Основні шляхи вирішення цієї проблеми можна подати схемою (див. рисунок).

Практика показала, що більш гнучкими є методи, які допускають зміну інтенсивності робіт. Тому в модель необхідно ввести умови, що визначають варіанти можливої інтенсивності виконання кожної роботи, через що тривалість носить змінний характер. За таким підходом можна реально виявити інтенсивність виконання кожної роботи, виходячи з кінцевої мети діяльності будівельної організації.

Режим виконання роботи $(i,j)\in A$ графа $G(U,A)$ визначається показниками її тривалості та інтенсивності. Тривалість виконання роботи (i,j) s-ї бригади

$$\tau_{ij} = Q_{ij} / n_{ij}^{S} \, (i = 1, 2, \ldots, n-1;\ j = 2, 3, \ldots n), \quad (1)$$

де Q_{ij} – трудомісткість роботи (i,j), людино-днів; n_{ij} – кількість виконавців у s-й бригаді (ланці).

У загальному випадку шуканий режим визначається в межах

$$d_{ij} \le \tau_{ij} \le D_{ij}, \quad (2)$$

де d_{ij} – прискорений режим виконання роботи при двох–трьох змінах; D_{ij} - нормальна тривалість виконання роботи (i,j).

Якщо $(i,j)\in A$ виконується в заданому режимі, то $\tau_{ij} = d_{ij} = D_{ij}$. При цьому інтенсивність роботи (i,j) визначається кількістю ресурсу, який витрачається за одиницю часу. Кожна робота може виконуватися з інтенсивністю

$$U = P_{ij} / \tau_{ij}, \quad (3)$$

де P_{ij} – обсяг роботи у фізичному вимірюванні, м^3, м^2, м погонної довжини;

$$\tau_{ij} = P_{ij} / n_{ij} B_s, \quad (4)$$

де B_s – виробіток виконавця в одиницю часу в одинцях обсягу; оскільки P_{ij} / B_s – трудомісткість роботи $(i,j) \to Q_{ij}$, отримаємо (1).

Визначимо з (3) та, прирівнявши її до (4), одержимо

$$U_{ij} = n_{ij} B_s \, . \quad (5)$$

Величина $B = \text{const}$, а тому $U_{ij} = n_{ij}$. Таким чином,

$$d_{ij} = \tau_{ij}^{\min} = Q_{ij} / n_{ij}^{\max},$$

$$D_{ij} = \tau_{ij}^{\max} = Q_{ij} / n_{ij}^{\min}. \quad (6)$$

Визначаючи d_{ij}, виходимо з того, що

$$U_{ij} = (n_{ij} B_s)_{\max}, \quad (7)$$

а D_{ij} у (1) відповідає мінімальна інтенсивність

$$U_{ij} = (n_{ij} B_s)_{\min}, \quad (8)$$

отже,

$$U_{ij}^{\min} \le U_{ij} \le U_{ij}^{\max}. \quad (9)$$

Вибір режиму виконання роботи $(i,j)\in A$ у процесі прийняття рішення передбачає виділення такої кількості ресурсів із заданого обмеженого їх обсягу, за якою отримаємо оптимальну тривалість за (1). У цьому випадку задача формулюється так: визначити параметри моделі, за яких загальний строк реалізації буде мінімальним, а наявні трудові ресурси будуть повністю використовуватися при їх обмеженні.

Введення в модель $G(U, A)$ умов, які визначають варіанти режимів виконання кожної роботи (i, j) показує, що така модель має всі допустимі за даних умов варіанти виконання без подання кожного з них в явному вигляді.

Оптимальний за заданим критерієм розв'язок визначається в стислі строки економіко-математичними методами, які реалізуються за допомогою обчислювальної техніки. Як зазначалося, загальна постановка задачі передбачає реалізацію програми (проекту) за мінімальний час при обмежених трудових ресурсах.

Сформулюємо математичну модель задачі. Дана модель (D_{ij}, T^D), яка відповідає виконанню всіх робіт $(i, j) \in A$ з мінімальною інтенсивністю. За кожною роботою $(i, j) \in A$ відомі d_{ij} – та відповідні їм за (1) n_{ij}^D, n_{ij}^d, Δn_{ij}. Відоме в загальному вигляді ресурсне обмеження

$$U_{\text{об}} = A + B\tau . \tag{10}$$

Знайти такий розв'язок $(x_{r_{ij}} \tau_{ij},\ T_n)$, який мінімізує цільову функцію

$$L(x) = \left[\max \left(\sum_{(i,j) \in T_{кр}} x_{r_{ij}} \tau_{ij} \right) \right] \to \min \tag{11}$$

при наборі таких $x_{r_{ij}}$, щоб

$$\sum_{r=1}^{m} x_{r_{ij}} = 1 , \tag{12}$$

де r – кількість комбінацій інтенсивності виконання $(i, j) \in A$, $r = 1, 2, \ldots, m$.

Обмеження таке: якщо $x_{r_{ij}} = 1$, це значить, що вибрано r-ту комбінацію інтенсивності виконання роботи (i, j); якщо $x_{r_{ij}} = 0$, то для виконання цієї роботи вибрано іншу комбінацію:

- обмеження ресурсів на виконання роботи

$$\sum_{r=1}^{m} x_{r_{ij}} \tau_{ij} n_{ij} \le Q_{ij} ; \tag{13}$$

- обмеження щодо використання сумарних ресурсів за множиною робіт у k-му перерізі потоку в часі

$$\sum_{(i,j) \in A_{nk}} x_{r_{ij}} n_{ij} \le U_{\text{об}} , \tag{14}$$

де n_{ij}^D, n_{ij}^d – чисельність виконавців, які забезпечують задані режими виконання; Δn_{ij} – крок зміни інтенсивності використання ресурсів; для кожної роботи може бути сталим або змінним, в окремому випадку $\Delta n_{ij} = 1$; τ_{ij} – тривалість реалізації роботи (i, j), узята з діапазону $d_{ij} \le x_{r_{ij}} \tau_{ij} \le D_{ij}$ залежно від

$$x_{r_{ij}} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} . \tag{15}$$

Таким чином, задача оптимізації зводиться до мінімізації функції (11) при обмеженнях (12)–(15). Оскільки на $x_{r_{ij}}$ накладається вимога формальної цілочисельності (адже Δn_{ij} може змінюватися з різним кроком), розв'язання найбільш прийнятними методами виявляється неефективним через повільну збіжність до оптимального розв'язку й значних розмірів задач.

Щоб розв'язати поставлену задачу, зручно видозмінювати критерій якості. Розглянемо ліву частину умови (14)

$$\sum_{(i,j) \in A_{nk}} x_{r_{ij}} n_{ij} .$$

Ця величина фізично подає ресурсно-часову характеристику та показує, як у прийнятих розв'язках використовуються сумарні трудові ресурси.

Величина $U_{\text{об}} = U(\tau)$ у загальному вигляді – функція обмеження, яка визначає закономірність зміни інтенсивності споживання трудових ресурсів у кожну одиницю часу. Якщо роботу $(i, j) \in A$ виконують з такою сумарною інтенсивністю, яка описана законом її вимірювання, то відношення

$$\eta = \frac{\sum x_{r_{ij}} n_{ij} T}{U_{об} T_{кр}} \tag{16}$$

характеризує ступінь використання ресурсів в часі. Якщо $\eta = 1$, то наявні ресурси використовуються відповідно до заданого закону зміни їх інтенсивності.

Однак на практиці важко дістати розв'язок, щоб $\eta = 1$, тому доцільно визначити такі $x_{r_{ij}}$ та відповідні їм τ_{ij}, за яких $\eta \to \max$, а потім замінити функцію

$$L(x) = (1 - \eta) \to \min \tag{17}$$

яка набуває мінімального значення та задовольняє умови:

$$\left. \begin{aligned} & \sum_{m} x_{r_{ij}} = 1; \\ & \sum x_{r_{ij}} n_{ij} \tau_{ij} \le Q_{ij}; \\ & d_{ij} \le x_{r_{ij}} \tau_{ij} \le D_{ij}; \\ & U_{\text{об}} = U(\tau) - \text{const.} \end{aligned} \right\} \tag{18}$$

Очевидно, що задача зводиться до мінімізації недовикористання сумарної інтенсивності споживання ресурсів для максимального скорочення тривалості виконання програми (проекту) при обмежених ресурсах. А в постановці (17) та (18) задача має досить ефективний метод розв'язування, який називається методом перерізу потоку робіт. У цьому методі будь-який переріз потоку характеризується параметрами

$$\tau_n = \tau(i,j), n_n = n(i,j), \qquad (19)$$

де τ_n – призначувана величина, яка вибирається за $\tau_{ij}^{рп}$ або за $\tau_{ij}^{рз}$, а $n_n = n(i,j)$ – визначувана величина в кожному перерізі потоку робіт (тут і далі «рп» і «рз» означають відповідно ранній початок і раннє закінчення).

Численні роботи в перерізі $A_{пк}$ становлять ті, які задовольняють умову

$$\tau_{ij}^{рп} \le \tau_{пк} \le \tau_{ij}^{рз}, (i,j) \in A_{пк}. \qquad (20)$$

Для визначення $A_{пк}$ спочатку треба визначити множину робіт A_{1n}, що задовольняють ліву частину нерівності (20), потім з множини A_{1n} виділити роботи чисельності A_{2n} які мають

$$\tau_{пк} \le \tau_{ij}^{рз}, (i,j) \in A_{1n}, A_{2n} \subset A_{1n}, \qquad (21)$$

тоді множина робіт в перерізі потоку

$$A_{пк} = A_{1n} - A_{2n}. \qquad (22)$$

Сумарна інтенсивність використання ресурсів у перерізі потоку робіт

$$N_{пк} = \sum_{i,j \in A_{пк}} n_{ij} x_{rij}, (i,j) \in A_{пк}. \qquad (23)$$

Якість використання ресурсів у перерізі

$$\tau_{ij}^{рз} \le 0, \qquad (24)$$

де $N_{пк}$ – завантаження ресурсу в k-му перерізі, визначається за кількістю $A_{пк}$ (22). Використовуючи метод перерізу потоку робіт, знайдемо оптимальний варіант розв'язування за вибраним критерієм.

Вихідні дані задаються як коди сітьової моделі робіт і зведеної ресурсно-часової матриці значень $\left\|\tau_{ij}/n_{ij}\right\|$ (таблиця). У зведеній матриці значення τ_{ij} та n_{ij} мають таку залежність:

$$\frac{d_{ij} = \tau_{ij(1)} < \tau_{ij(2)} < \ldots < \tau_{ij} = D_{ij}}{n^{d}{}_{ij} = n_{ij(1)} > n_{ij(2)} > \ldots > n_{ij(r)} = n^{D}{}_{ij}}. \qquad (25)$$

Таблиця

Зведена ресурсно-часова матриця

№ з/п	(i,j)	Q	τ_{ij}/n_{ij}				
			$n_{ij(1)}^{d}$	$n_{ij(2)}$	…	$n_{ij(r-1)}$	$n_{ij(r)}^{D}$
1	1-2	Q_{12}	$\tau_{12(1)}$	$\tau_{12(2)}$	…	$\tau_{12(r-1)}$	$\tau_{12(r)}$
2	1-4	Q_{14}	$\tau_{14(1)}$	$\tau_{14(2)}$	…	$\tau_{14(r-1)}$	$\tau_{14(r)}$
…	…	…	…	…	…	…	…
p-1	m-1	Q_{m-1}	$\tau_{m1(1)}$	$\tau_{m1(2)}$	…	$\tau_{m1(r-1)}$	$\tau_{m1(r)}$
p	M	Q_m	$\tau_{m(1)}$	$\tau_{m(2)}$	…	$\tau_{m(r-1)}$	$\tau_{m(r)}$

Вихідний (початковий) варіант може бути заданий за будь-яким стовпцем матриці $\left\|\tau_{ij}/n_{ij}\right\|$, тобто вихідний розв'язок за стовпцем «к» означає, що до нього включені всі ті τ_{ij}/n_{ij}, які записані в цьому стовпці зведеної матриці. У тих рядках матриці, де на перетині зі стовпцем «к» немає τ_{ij}/n_{ij}, у вихідний розв'язок включається найближче ліворуч значення τ_{ij}/n_{ij}, тобто крайнє ліве в рядку.

Оптимальне значення змінних, заданих в кожному рядку матриці та за моделлю в цілому, вибирають на кожному кроці обчислювальної процедури з перевіркою стану всієї моделі. Вибір алгоритму дій на кожному наступному кроці залежить від характеру змін всієї моделі після вибору на даному кроці.

Запропонований метод має ряд переваг. У системі сітьового планування та управління (СПУ) між ресурсами та часом відсутня функціональна залежність, яку можна було б записати як аналітичний вираз. Це є однією з причин того, що відомі точні математичні методи не застосовуються для розв'язування складних практичних задач з ресурсно-часової оптимізації моделей.

Використовуваний метод зсування робіт із суб'єктивних міркувань на більш пізні строки без урахування резервів часу – це вихід зі становища, але не оптимізація моделі.

Наявні алгоритми ґрунтуються на принципі пріоритетного упорядкування фронту робіт за загальним резервом часу та різницею між часом чергового фронту робіт і часом початку робіт, де оптимізація виконується зсуванням робіт без зміни їх інтенсивності. Як показав досвід, здобуті результати при цьому дуже наближені.

Новий метод пошуку оптимального розв'язку більш досконалий порівняно з відомими методами, якщо він має перевагу хоч би за одним із таких параметрів при рівності за іншими:

– дає точний результат або менше відхилення від нього;

– забезпечує більш якісну оптимізацію за певними параметрами;

– враховує значну кількість можливих вихідних умов і обмежень, тобто є більш загальним;

– практично прийнятний за можливістю та зручністю програмування на ПЕОМ, витратою оперативної пам'яті та затратами машинного часу на розв'язування складних задач.

Висновок

Розв'язування задач у діалоговому режимі дає більш якісну ресурсно-часову оптимізацію моделей, але воно значно залежить від суб'єктивних даних виконавця та придатне для процесів, які виконуються поступово, оскільки потребує значних затрат часу.

Оцінювати обчислювальний метод перерізу потоку робіт за точністю немає сенсу, оскільки абсолютно оптимальний варіант, з яким треба було б порівняти його результати, можна вибрати тільки перебиранням всіх варіантів. Це неможливо навіть при використанні ПЕОМ.

Використання матричного методу зображення вихідної інформації відображує реальний процес і дисциплінує організацію розрахунків, а форма зображення вихідної інформації значно впливає на зміст і ефективність методу.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Антанавичус К. А. Моделирование и организация в управлении строительством. – М: Стройиздат, 1979. – 197 с.
2. Афанасьев М. Ю. Исследование операций в экономике: модели, задачи, решения: Учеб. пособие / М. Ю. Афанасьев, Б. П. Суворов. – М.: ИНФРА, 2003. – 444 с.
3. Исследование операций: в 2-х томах. / Перев. с англ.; Под. ред. Дж. Маудера, С. Э. Амаграби. – М.: Мир 1981. Т. 1. Методологические основы и математические методы. – 712 с.; Т. 2. Модели и применение. – 677 с.

Надійшла до редколегії 21.09.2005.