УДК 62-52. 004.942

С. С. Максимов, асп.;
А. В. Усов, д-р. техн. наук, проф.

ДИСКРЕТНА ОПТИМІЗАЦІЯ В УПРАВЛІННІ БУДІВЕЛЬНИМИ ПРОЕКТАМИ КОМПЛЕКСНОГО ХАРАКТЕРУ

Запропоновано інформаційну технологію оптимізації збору даних для розв'язання задач методом мережевого програмування та розв'язання на основі цього методу низки оптимізаційних задач календарного планування.

Вступ

Управління проектами є сукупністю методології, методів, технічних і програмних засобів, що застосовуються під час розробки та реалізації проектів, тобто унікальних процесів, що обмежені у часі і вимагають витрат ресурсів.

Будівництво відноситься до тієї галузі виробничої діяльності людини, в якій елементи інформаційної технології управління проектами застосовувалися вже давно, що є наслідком специфічних особливостей цієї галузі.

Основними завданнями теорії управління проектами є побудова календарного плану реалізації проекту та його ув'язка з можливостями матеріально-технічного забезпечення. Тобто в процесі формування календарного плану виникає необхідність розподілу обсягів робіт, що підлягають виконанню, між виконавцями та ресурсів, що знаходяться в розпорядженні керуючого проектом.

Будівельне виробництво багатоваріантне за своєю суттю, тобто кожна робота може бути виконана кількома способами, як з точки зору її технології, так і з точки зору організації її виконання. Але вибір варіантів виконання робіт багато в чому залежить від їх обсягів і договірних термінів, протягом яких повинні бути виконанні обумовлені договором роботи. За наявної системи нормативних документів можливе проектування виконання робіт за декількома варіантами. Це означає, що попередньо має бути проведений аналіз найперспективніших варіантів її виконання, з яких відбереться найраціональніший за даних умов. Використовувані наразі інформаційні моделі вибору організаційно-технологічних рішень щодо виконання будівельно-монтажних робіт направлені в основному на те, щоб забезпечити відповідність залучених ресурсів будівельної організації і вимоги, які продиктовані виконуваними роботами. Крім того, вони допомагають вибрати раціональну схему руху бригад по об'єктах будівництва, що забезпечує скорочення термінів будівництва за рахунок усунення простоїв бригад, переміщуючи їх з об'єкта на об'єкт.

Разом з тим, дотримання договірних термінів виконання робіт вимагає на етапі підготовки виробництва організації управління тривалістю виконання робіт, яке на сьогодні здійснюється в основному за рахунок насичення фронту робіт ресурсами та організації суміщеного виконання робіт. Але при цьому не розглядаються можливості оптимального розподілу обсягів робіт між виконавцями, тобто питання оптимальності підміняються критерієм зручності і простоти.

Питання скорочення загальної тривалості реалізації проекту за довільних залежностей між роботами без урахування галузевої специфіки і для безперервної залежності тривалості виконання роботи від витрат на неї розглядалися в роботах [1, 2]. Але будівництво за своєю природою дискретне і можливі варіанти виконання роботи мають дискретний набір значень. Це пояснюється тим, що зміна тривалості роботи може здійснюватися за рахунок насичення фронту робіт робітниками і будівельною технікою, що само по собі вже передбачає дискретну постановку задачі.

При цьому виникає проблема опису технологічного зв'язку між роботами. Зазвичай, такий зв'язок добре описується за допомогою спрямованих графів, побудованих за подіями. У цьому випадку за події беруться моменти часу, в які починається та завершується конкретна робота. Такі графи отримали назву мережевих. Але це подання не завжди може бути використане у моделюванні будівельних процесів, тому що наразі основним методом виконання робіт в будівництві є поточний. Сутність цього методу полягає в тому, що весь об'єкт будівництва розбивається на ділянки так звані захватки. Роботи виконуються за кожною із захваток спеціалізованими бригадами. Причому в кожний момент часу на захватці може працювати тільки одна бригада. Поточний характер будівельного виробництва не піддається моделюванню за допомогою мережевих графіків. Пояснюється цей факт тим, що в процесі переміщення бригад по захваткам виникають організаційні перерви, тобто простої або фронтів робіт, або бригад з метою очікування звільнення бригади або ж захватки. Ці перерви не піддаються обліку за допомогою традиційних мережевих графіків. Тому необхідно використовувати матричну модель опису поточного виробництва.

Таким чином, істотною частиною моделей і механізмів управління проектами є завдання календарного планування, які найчастіше, є складними і багатоекстремальними. Тому актуальною є задача розробки інформаційної технології для ефективних механізмів розв'язання різних класів задач календарного планування.

Мета дослідження полягає у розвитку інформаційної технології оптимізації збору даних до вирішення завдань методом мережевого програмування і розв'язання на основі цього методу низки оптимізаційних задач календарного планування.

Основна частина

Багато задач дискретної оптимізації зводяться до: визначення вектора $x=\{x_i\}$ з дискретними компонентами, що мінімізує адитивну функцію [3]

$$\phi(x)=\sum_{i=1}^{n}\phi_i(x_i) \qquad (1)$$

за обмеження

$$f(x)\geq b. \qquad (2)$$

Будь-яка функція дискретних змінних допускає мережеве подання, таке, що обчислення значень функції зводиться до послідовного обчислення значень простіших функцій. Зокрема, будь-яка функція дискретних змінних допускає дихотомічне подання, коли обчислення значення функції зводиться до послідовного обчислення значень функцій двох змінних. Так функція $f(x)=f_0\left[f_1(x_1,x_2),f_2(x_2,x_3)\right]$ допускає дихотомічне представлення (рис. 1). При цьому функції f_0, f_1 та f_2 зручно подати у матричному вигляді (рис. 2). Таке представлення широко використовується в методах комплексного оцінювання програм розвитку підприємств, регіонів, результатів діяльності підрозділів.

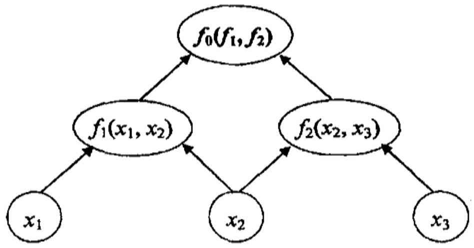

Рис. 1. Дихотомічне представлення функції дискретних змінних

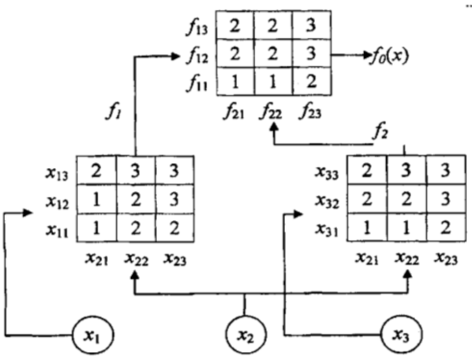

Рис. 2. Представлення функцій f_0, f_1 та f_2 у матричному вигляді

З урахуванням можливості представлення безперервних функцій декількох змінних суперпозиціями неперервних функцій меншого числа змінних (зокрема, двох змінних), будь яка безперервна функція трьох змінних може бути подана у вигляді

$$f(x_1,\,x_2,\,x_3)=h^1\left(x_1,\,\phi_1(x_2,x_3)\right)+h^2\left(x_1,\,\phi_2(x_2,\,x_3)\right)+h^3\left(x_1,\,\phi_3(x_2,\,x_3)\right).$$

Її мережеве представлення показано на рис. 3. У мережевому вигляді можна представити і систему нерівностей. Розглянемо, наприклад, систему нерівностей

$$f_j(x)\leq b_j,\;\; j=\overline{1,m}. \qquad (3)$$

Без обмеження спільності можна прийняти, що b_j — позитивні і однакові числа, $b_j=b>0$. У цьому випадку систему нерівностей (3) можна замінити однією нерівністю $f(x)\leq b$, де $f(x)=\max\limits_j f_j(x)$. Очевидно, що функція $f(x)$ допускає мережеве подання, якщо всі функції f_j допускають таке подання.

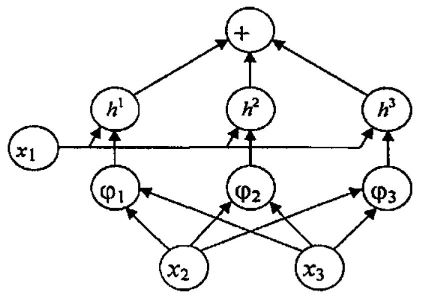

Рис. 3. Мережеве представлення безперервних функцій трьох змінних

Нижче описується новий метод розв'язання задач дискретної оптимізації, що використовує мережеве представлення функції $f(x)$. Цей метод природно назвати методом мережевого програмування (в окремому випадку дихотомічного представлення, отримуємо метод дихотомічного програмування).

Розглянемо випадок, коли функція $f(x)$ допускає мережеве представлення у вигляді дерева. Дамо опис методу мережевого програмування для задачі (1), (2). На рис. 3 наведено приклад функції трьох змінних, що має вигляд:

$$f(x_1, x_2, x_3) = \phi_0\left[f_1,(x_1, x_2, x_3)\right] = \phi_0(y, x_3).$$

Значення функцій $\phi_i(x_i)$ відповідають змінним x_1, x_2 та x_3. Ідея методу полягає в такому. Спочатку вирішується задача мінімізації функції двох змінних $\phi_1(x_1)+\phi_2(x_2)$ за обмеження $f_1(x_1, x_2) \geq y$ що відповідає початковій вершині мережевого подання. Позначимо $z(y)$ розв'язання цього завдання в залежності від y. Далі розв'язуємо задачу мінімізації функції теж двох змінних $z(y)+\phi_3(x_3)$ за обмеження $\phi_0(y, x_3) \geq b$, що відповідає кінцевій вершині мережевого подання. Розв'язання цієї задачі визначає оптимальний розв'язок вихідної задачі. Проілюструємо метод на прикладі, коли $\phi_0(y, x_3) \geq b$, що відповідає кінцевій вершині мережевого представлення. Розв'язання цієї задачі визначає оптимальний розв'язок вихідної задачі.

1 *крок*. Розглядаємо нижню матрицю і для кожного елемента цієї матриці записуємо в нижній половині відповідної клітини суму функцій $\phi_1(x_1)$ та $\phi_2(x_2)$ для відповідних значень x_1 та x_2. Так, наприклад, клітині $(x_1, x_2) = (3,2)$ відповідає сума $\phi_1(3)+\phi_2(2) = 20+10 = 30$. Далі будемо називати цю суму витратами на досягнення відповідного стану.

2 *крок*. З усіх елементів матриці, що мають однакове значення $y = f_1(x_1, x_2)$ вибираємо елемент з мінімальною сумою $\varphi_1(x_1)+\varphi_2(x_2)$. Мінімальну суму записуємо в нижню половину клітки, що відповідає цьому значенню у верхній матриці. Так, наприклад, значенням $y = 3$ відповідають 5 елементів нижньої матриці: (3,2), (4,2), (3,3), (4,3) і (2,4). З них елемент (3,2) має мінімальну суму 30 (це число записано в нижній половині відповідної клітини). Тому у верхній матриці значенням $y = 3$ відповідає число 30, записане в нижній половині відповідної клітини.

Далі кроки 1 і 2 повторюються для верхньої матриці. В результаті для кожного значення $f(x)$ ми отримуємо мінімальне значення $\varphi(x)$.

Нескладно узагальнити описаний метод на випадок довільного мережевого представлення функції $f(x)$ у вигляді дерева. Головне, щоб задачі, що відповідають кожній вершині мережевого представлення мали ефективні методи розв'язання. У разі дихотомічного представлення це завжди має місце [4].

Зауважимо, що дихотомічне представлення має структуру у вигляді гілки дерева. У цьому випадку метод дихотомічного програмування переходить в метод динамічного програмування. Таким чином, метод дихотомічного програмування у разі дихотомічного представлення у вигляді дерева, є узагальненням методу динамічного програмування, розширюючи коло завдань, що вирішуються на основі такого підходу (рис. 4).

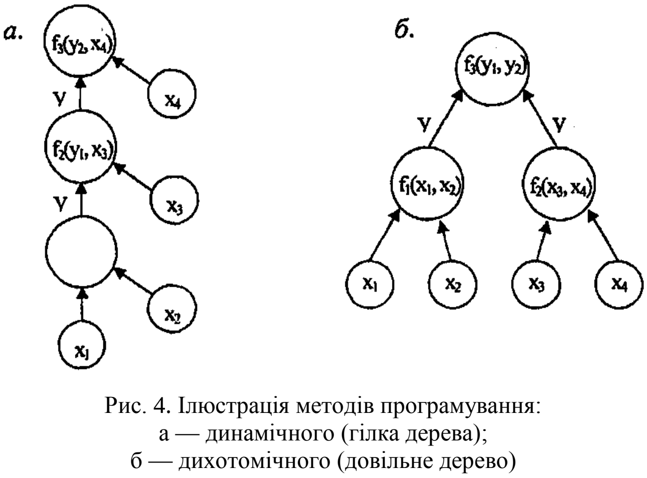

Рис. 4. Ілюстрація методів програмування:
а — динамічного (гілка дерева);
б — дихотомічного (довільне дерево)

Якщо у методі динамічного програмування розв'язком задачі є шлях у деякій спеціальним чином побудованій мережі, то в методі дихотомічного програмування розв’язком задачі є часткове дерево в деякому спеціально побудованому дереві. Відповідно, принцип оптимальності в методі дихотомічного програмування можна сформулювати таким чином: будь-яке піддерево оптимального дерева повинно бути оптимальним. Формально цей принцип оптимальності можна записати так:

$$\phi_j(y) = \min_{(i,j)\in p(y)} \min_{(i,j)\in p(y)} \left[\phi_i(y_i) + \phi_j(y_j)\right],$$

де $p(y)$ — безліч пар (i, j) таких, що

$$f_k(y_i, y_j) = y.$$

Загальний випадок

Розглянемо довільне мережеве представлення функції $f(x)$, що задається мережею, виходом якої є відповідна функції $f(x)$ вершина, а виходами — вершини, що відповідають змінним x_i, $i = \overline{1,n}$. Розглянемо безліч кінцевих вершин, які не є висячими, тобто їх ступені заходу більше 1. Розділимо довільним чином витрати $\phi_i(x_i)$ на k_i частин , де k_i — число дуг, що заходять. Фактично ми ніби розділили вершину i на k_i висячих вершин з відповідною частиною витрат. Далі застосовуємо описаний вище алгоритм. При цьому кожний раз, коли зустрічається вершина зі ступенем заходу більше 1, ділимо витрати на відповідне число частин. В результаті застосування алгоритму отримаємо оптимальний розв’язок для модифікованої мережі. Отриманий за допомогою вищеописаного алгоритму розв’язок дає нижню оцінку оптимального рішення вихідної задачі.

Висновок

Запропоновано модель побудови календарного плану за критерієм рівномірного завантаження виконавців, що відрізняється урахуванням виробничої потужності кожного виконавця і застосуванням методу мережевого програмування. Модель дозволяє отримати нижні оцінки початкового завдання для подальшого її розв’язання методом гілок і меж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурков В. Н. Большие системы. Моделирование организационных механизмов / В. Н. Бурков. — М. : Наука, 1989 г. — 248 с.

2. Бурков В. Н. Как управлять проектами: научно-практическое издание / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. — М. : СЕНТЕГ-ГЕО, 1997. — 320 с.

3. Разу М. Л. Методы и модели совершенствования организации управления строительством / М. Л. Разу, А. Д. Гаун — М. : МИУ, 1988 — 105 с.

4. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп ; пер. с англ. Б. И. Копылова. — М. : Лаборатория базовых знаний, 2004. — 832 с.

Рекомендована кафедрою комп’ютерних систем управління

Стаття надійшла до редакції 25.06.11
Рекомендована до друку 5.07.11

Максимов Сергій Сергійович — аспірант, ***Усов Анатолій Васильович*** — завідувач кафедри.

Кафедра вищої математики та моделювання систем, Одеський національний політехнічний університет, Одеса