УДК 658.5+005.82:005.591.1
д.т.н., доц. Доненко В.І.,
Запорізька державна інженерна академія

ОЦІНКА ЗАЛУЧЕННЯ СУБПІДРЯДНИХ ПОСЛУГ НА БУДІВЕЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Запропоновано модель визначення величини обсягів залучення спеціалізованих субпідрядних послуг задля забезпечення раціонального використання обмежених ресурсів організації-виконавця, яка дозволяє здійснити раціональне розподілення обмежених ресурсів організації-виконавця по критичних областях сукупності робіт з визначенням їх організаційно-технологічних характеристик.

Ключові слова: субпідряд, будівельне підприємство, обсяг робіт

Актуальність. В умовах динамічності сучасного будівельного виробництва та зростаючих темпів і обсягів застосування нових прогресивних технологій значно збільшуються вимоги до якості процесів планування та організації будівельно-монтажних робіт (БМР) за окремими будівельними проектами та діяльності будівельних компаній і підприємств в цілому [1, 4]. На стадії обґрунтування та проектування будівельного проекту [3], поряд із собівартістю будівельно-монтажних робіт і тривалістю будівництва, формується вектор основних показників як самого будівельного проекту, так і діяльності будівельної організації.

Функціонування будівельного комплексу країни взагалі та ринку підрядних послуг зокрема питання своєчасного закінчення всіх видів (етапів, комплексів) робіт, передбачених договором підряду тісно пов’язано з процесами розподілення обмежених ресурсів організації-виконавця. При цьому з метою дотримання строків виконання робіт та одночасного забезпечення раціонального розподілу наявних ресурсів доречно залучати субпідрядні фірми та організації для виконання спеціалізованих будівельно-монтажних та інжинірингових послуг [2]. Вочевидь таке залучення повинно ґрунтуватися на конкретних чисельних розрахунках з урахуванням організаційно-технологічних обсягів наявності ресурсів у виконавців, з дотриманням суттєвим параметрів договору підряду та повинно вирішувати питання ефективного досягнення мети проекту.

Метою роботи є розробка модель визначення величини обсягів залучення спеціалізованих субпідрядних послуг та величини розміщення навантаження між елементами і підрозділами організації-виконавця, з метою забезпечення раціонального використання її обмежених ресурсів.

Матеріал дослідження: У випадку перевантаження ресурсів, його усунення можливе за рахунок передачі частини робіт до субпідряду. Тому, задача полягає у визначенні такої множини робіт, що повинні бути передані до субпідряду, яка визначає мінімальну вартість субпідрядних робіт. Іншими словами, потрібно мінімізувати витрати на субпідрядні роботи за умови, що інші роботи можуть бути виконані своїми силами без перевантаження ресурсів (або при припустимому перевантаженні ресурсів).

Почнемо розгляд з найпростішого випадку, коли залежність швидкості роботи υ_i від кількості ресурсів r_i має вигляд:

$$\upsilon_i = r_i, i = \overline{(1,h)} \tag{1}$$

У цьому випадку кожен вид проектних робіт можна розглядати окремо. Нехай кількість ресурсів аналізованого виду дорівнює R. У цьому випадку тривалість виконання всіх проектних робіт визначається виразом:

$$\Pi = \frac{O}{R}, \tag{2}$$

де $O = \sum_{i=1}^{h} O_i$

Якщо $\Pi > \Pi_0$ (Π_0 - заданий термін виконання проектних робіт), то частину робіт необхідно передати іншим організаціям, які зможуть виконати ці роботи за час не більше Π_0. Позначимо s_i - вартість виконання i-ої роботи на субпідряді. Для формальної постановки задачі позначимо $k(i) = 1$, якщо робота i передається до субпідряду, $k(i) = 0$, в іншому випадку. Задача полягає у визначенні $\{k(i)\}$, таких що

$$\breve{G}(k) \leq \sum_i s_i \cdot k(i) \tag{3}$$

Мінімальна при обмеженні:

$$g \leq \sum_i \upsilon_i \cdot k(i) \tag{4}$$

де $g = O - \Pi_0 \cdot R$

Отримали класичну «задачу про ранець», для якої існують ефективні методи рішення. Зокрема, досить ефективним є метод дихотомічного програмування, який при структурі дихотомічного уявлення, максимально близький до симетричної, має менший обсяг обчислень, ніж метод динамічного програмування.

Приклад 1. Маємо шість проектних робіт, дані про які наведені у вигляді векторів:

$$i = \overline{(1,6)}; \quad O_i = \overline{(3;5;7;9;10;12)}; \quad s_i = \overline{(2;3;4;7;9;10)}$$

Загальний обсяг робіт $O = 46$ та $R = 3$, $\Pi_0 = 9$. Тоді $g = 46 - 27 = 19$. Розглянемо наступну структуру дихотомічного подання обмеження (4).

Спочатку об’єднуються робота **101** і робота **102** (позначимо ***m(*101*)***), робота **103** з роботою **104** (позначимо ***m(*102*)***) і робота **105** з роботою **106** (позначимо ***m(*103*)***). Запишемо ***m(*101*)*** об’єднуючи з ***m(*102*)***, результат ***m(*104*)*** об’єднується з ***m(*103*).***

Алгоритм складається з двох етапів. На першому етапі будуються матриці дихотомічного подання (з права - наліво за структурою рис. 1). На другому - визначається оптимальне рішення (зліва - направо за структурою рис.1).

1 етап. Побудуємо послідовно матриці дихотомічного подання.

1 шаг. Будуємо матрицю ***m(*101*)*** (рис. 1а).

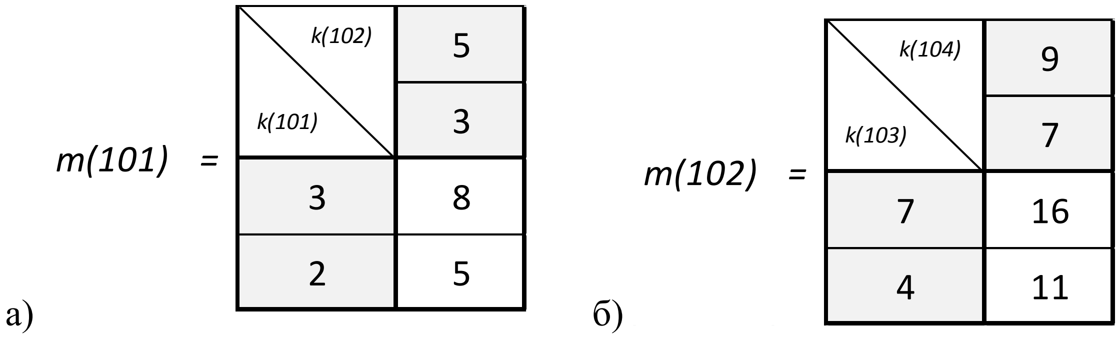

Рис. 1 Дихотомічні матриці: а- роботи 101; б- роботи 102

Верхнє число в кожній клітинці дорівнює обсягу, що віддається на субпідряд відповідному варіанту, а нижнє – вартості. Так наприклад, якщо робота **101** віддається до субпідряду, а робота **102** не віддається, то обсяг субпідрядних робіт становитиме **3**, а вартість **- 2**.

2 шаг. Будуємо матрицю ***m(*102*)*** (рис. 2б).

3 шаг - 5 шаг. Аналогічно будуємо дихотомічні матриці ***m(*103*)*** **-** ***m(*105*)***.

Проаналізувавши матрицю ***m(*105*)*** зазначимо, що число рядків матриці ***m(*105*)*** дорівнює **11**, оскільки $\boldsymbol{g} = \mathbf{19}$ і тому рядки з величинами обсягів **21** і **24** можна не розглядати. Крім того варіант $\boldsymbol{O} = \mathbf{9}$, $\boldsymbol{\breve{G}} = \mathbf{7}$ домінується варіантом $\boldsymbol{O} = \mathbf{10}$, $\boldsymbol{\breve{G}} = \mathbf{6}$, тому що більшому обсягу субпідрядних робіт відповідають менші витрати. Аналогічно варіант $\boldsymbol{O} = \mathbf{14}$, $\boldsymbol{\breve{G}} = \mathbf{10}$ домінується варіантом $\boldsymbol{O} = \mathbf{15}$, $\boldsymbol{\breve{G}} = \mathbf{9}$. Не заповнені клітини матриці не розглядаються, оскільки відповідні варіанти не можуть бути оптимальними.

2 етап.

1 крок. У матриці ***m(*105*)*** знаходимо клітку з мінімальною вартістю субпідрядних робіт серед всіх клітин з обсягом субпідрядних робіт не менше **19**. Це клітина ***m(*103*)*** **= 0**, ***m(*104*)*** **= 19** з величиною вартості $\boldsymbol{\breve{G}} = \mathbf{13}$.

2 крок. У матриці ***m(*104*)*** знаходимо клітку з обсягом субпідрядних робіт $\boldsymbol{O} = \mathbf{19}$ і вартістю $\boldsymbol{\breve{G}} = \mathbf{13}$. Їй відповідає ***m(*101*)*** **= 3** (вартість **2**) і ***m(*2*)*** **= 16** (вартість **11**).

3 крок. У матриці ***m(*103*)*** знаходимо клітку з обсягом робіт ***m(*103*)* = 0** (вартість також дорівнює **0**). Їй відповідає, вочевидь ***k(*105*)* = *k*(106) = 0**, тобто роботи **105** і **106** виконуються власними силами.

4 крок. У матриці ***m*** знаходимо клітку зі значенням ***m(*102*)* = 16** (вартість також дорівнює **11**). Їй відповідає варіант, в якому ***k(*103*)* = *k(*104*)* = 1**, тобто роботи **103** і **104** віддаються до субпідряду.

5 крок. У матриці ***m(*101*)*** знаходимо клітку зі значенням ***m(*1*)* = 3** (вартість дорівнює **2**). Їй відповідає варіант ***k(*101*)* = 1, *k(*102*)* = 0**, тобто робота **101** віддається до субпідряду, а робота **102** ні.

Остаточно отримуємо оптимальний варіант, в якому до субпідряду віддаються роботи **101, 103** і **104** сумарного обсягу **19** і сумарної вартості **13**. Зауважимо, що обсяг обчислень пропорційний сумарному числу аналізованих клітин всіх матриць. У даному прикладі це число дорівнює **48**.

Перейдемо до розгляду загального випадку. Як відомо, задачі календарного планування в загальному випадку не мають ефективних точних методів рішення. В основному застосовуються евристичні алгоритми оптимізації календарних планів. Припустимо, що на основі евристичних алгоритмів отримано календарний план. Виділимо інтервали перевантаження ресурсів понад допустимого рівня. Позначимо через $M(H_i)$ множину робіт, що виконуються в z-ому інтервалі, $z = \overline{1.2}$, O_{iz} - обсяг i-ої роботи, що виконується в z-ому інтервалі, $\breve{O}_z$ - допустимий обсяг робіт, який може бути виконаний в z-ому інтервалі. Позначимо через:

$$M(H) = M(H_{101}) + M(H_{102}) + \ldots + M(H_i)\,|\,i \in z \tag{5}$$

Припустимо, що число робіт $M(H)$ дорівнює h. Позначимо ***k(*101*)* = 1**, якщо робота i віддається до субпідряду, ***k(*101*)* = 0** в іншому випадку.

<u>Постановка задач.</u> Необхідно визначити $k = \{k(i)\}$, такі що

$$\breve{G}(k) = \sum_{i=1}^{h} k(i) \cdot s_i \tag{6}$$

Мінімальна при обмеженнях

$$g_i \le \left(\upsilon_{i1} \cdot k(i) + \upsilon_{i2} \cdot k(i) + \ldots + \upsilon_{iz} \cdot k(i)\right)\big|\,i \in M(H_z) \tag{7}$$

де $g_i = \left(\upsilon_{i1} + \upsilon_{i2} + \ldots + \upsilon_{iz}\right)\big|\,i \in M(H_z)$

Задача (6), (7) є стандартною задачею цілочисельного лінійного програмування. Для її рішення можна застосувати метод гілок і меж, а для отримання оцінок метод сітьового програмування.

Для простоти ілюстрації методики, приймемо, що є n проектів, кожен з яких складається всього з двох типів робіт, які виконуються послідовно, спочатку перший, а потім другий. Всі роботи першого типу виконуються одним структурним елементом. Тому вони не можуть виконуватися одночасно. Для виконання робіт другого типу є достатня кількість спеціалізованих підрозділів. Тому вони можуть вестися паралельно. Позначимо через η_i - тривалість роботи першого типу для проекту i, через μ_i - тривалість роботи другого типу для проекту i. Розглянемо спочатку випадок, коли жодна робота не віддається до субпідряду.

Визначимо черговість виконання робіт першого типу, що мінімізує час виконання всіх робіт. Для розглянутого випадку оптимальне рішення отримуємо за наступним правилом: роботи виконуються в черговості убування μ_i.

Приклад 2. Маємо п'ять проектів. Значення η_i і μ_i наведені у вигляді векторів:

$$i = \overline{(1,5)}; \quad \eta_i = \overline{(5; 6; 3; 4; 9)}; \quad \mu_i = \overline{(25; 20; 18; 16; 9)}$$

Відмітивши, що проекти пронумеровані за убуванням μ_i, обчислюємо тривалість виконання всіх проектних робіт:

$$\Pi_{\min} = \max_j \left(\sum_{i=1}^{j} \eta_i + \mu_j \right) = \max(30; 31; 32; 33; 34) = 34 \qquad (8)$$

Розглянемо наступну задачу: визначити безліч робіт першого типу, що віддаються до субпідряду, так щоб всі проекти були виконані за час Π і вартість субпідрядних робіт була мінімальною. Далі, без обмеження спільності будемо припускати наступну умову:

$$w_i + \mu_i \le \Pi \ \forall \ i \qquad (9)$$

Ця умова означає, що якщо робота першого типу проекту i виконується на субпідряді, то проект буде виконаний за час не більше необхідного Π. Якщо ця умова порушується, то вочевидь відповідна робота не може віддаватися до субпідряду. Далі приймемо, що $\Pi < \Pi_{min}$, де Π_{min} — мінімальна тривалість виконання всіх проектів при умові, що жодна робота першого типу не віддається до субпідряду. Як і раніше в прикладі будемо припускати, що всі проекти пронумеровані за убуванням μ_i. $M(P)$ - безліч проектів, роботи першого типу яких не віддані до субпідряду. Вочевидь, що ці роботи повинні виконуватися в черговості їх номерів. Маючи це на увазі, позначимо $k(i) = 0$ якщо робота першого типу проекту i віддана до субпідряду, $k(i) = 1$, в іншому випадку. На змінні $k(i)$ маємо наступні обмеження:

$$\sum_{j-1}^{i} k(i) \cdot \eta_j \le u_i, \quad i = \overline{(1,h)} \qquad (10)$$

де $u_i = \Pi - \mu_i$

Задача полягає у визначенні $\{k(i)\}$ максимізуючи

$$\breve{G}(k) = \sum_i s_i \cdot k(i) \qquad (11)$$

(s_i - вартість на субпідряді роботи першого типу проекту i) при обмеженнях (3.11).

Для вирішення цієї задачі застосуємо метод динамічного програмування. Для цього розглянемо декартову систему координат на площині (рис. 3).

На горизонтальній осі будемо визначати номери проектів, а на вертикальній величини $\sum_{j-1}^{i} k(i) \cdot \eta_j$. Побудуємо сіть наступним чином. З початку координат проводимо дві дуги в точки **(0, 1)** і ***(η_1; l)***, якщо $\eta_1 \leq u_1$. Перша дуга відповідає тому, що робота першого типу проекту **1** віддана до субпідряду, а друга тому, що ця робота не віддана до субпідряду.

З кожної отриманої точки також проводимо дві дуги, що відповідають двом можливим варіантам для проекту ***Q*** (робота першого типу або віддана до субпідряду, або не віддана). Так, з точки **(0; 1)** отримуємо дві точки **(0; 2)** і ***(η_2; 2)***, якщо звичайно $\eta_2 \leq u_2$. Відповідно, з точки ***(η_1; 1)*** отримуємо дві точки ***(η_1; 2)*** і ***(η_1+η_2; 2)***, якщо $\eta_1+\eta_2 \leq u_2$. Продовжуючи таким чином, отримуємо сіть (см. рис. 3). Ця сітка тісно пов'язана з допустимими рішеннями задачі (10), (11). А саме, кожний шлях сітки, що з'єднує початкову вершину з однією з кінцевих, визначає деяке допустиме рішення задачі. Вірно і зворотне, кожному допустимому рішенню задачі відповідає деякий шлях на сітці, що з'єднує початкову вершину з однією з кінцевих. Ця сітка для прикладу 2 наведена на рис. 7 для випадку ***П = 26***.

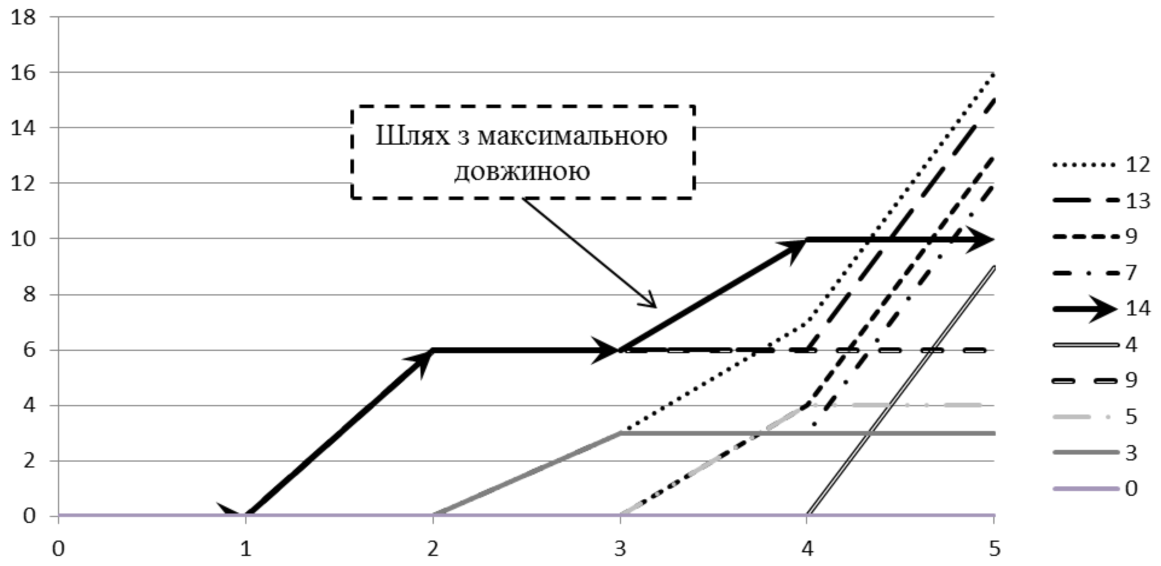

Рис. 2 Сітка допустимих рішень задачі

Приймемо довжини горизонтальних дуг рівними **0**, а довжини нахилених вартості відповідних робіт на субпідряді. В цьому випадку довжина будь-якого шляху, що з'єднує початок координат з однією з кінцевих вершин сітки дорівнює різниці сумарної субпідрядної вартості всіх робіт і вартості робіт, переданих до субпідряду для відповідного рішення. Таким чином, задача звелася до визначення шляху, що з'єднує початкову вершину з однією з кінцевих, і що має максимальну довжину. Вартості субпідрядних робіт вказані у нахилених дуг на рис. 3.7. Шлях максимальної довжини виділено товстими дугами. Цьому шляху відповідає рішення, в якому до субпідряду передаються роботи **101**, **103** і **105**.

Висновок: Таким чином, алгоритм визначення субпідрядного залучення до загальної реалізації робіт проекту дозволяє здійснити раціональне розподілення обмежених ресурсів організації-виконавця по критичних областях сукупності робіт з визначенням їх організаційно-технологічних характеристик. Це дає змогу сконцентруватися на своєчасному виконанні саме визначених робіт та приділити увагу питанням визначення величин розміщення навантаження між елементами та підрозділами організації-виконавця.

Перелік використаної літератури:

1. Антипенко Є.Ю. Науково-акомодативні засади ресурсно-календарного моделювання будівельного виробництва [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 / Антипенко Євген Юрійович ; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. - К., 2011. - 40 с. : рис., табл.

2. Доненко В.І. Науково-теоретичні основи адаптації організації підготовки будівництва / В.І. Доненко // Ежегодный научно-технический сборник «Современные проблемы строительства». – Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект, – 2010. – № 13. – С.47-54.

3. Доненко В.І. Інструментарій пошуку порядку освоєння об'єктів будівництва підрядними організаціями будівельної галузі в умовах динамічного середовища / В.І. Доненко, О.О. Книжнікова // Науковий вісник будівництва: Збірник наукових праць. – Харків: ХДТУБА, 2011. – №65. – С. 149-157.

4. Книжнікова О.О. Оптимізаційні методи і моделі планування діяльності будівельної організації: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08 [Текст] / Книжнікова Олена Олександрівна; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. - К., 2011. - 20 с.

Аннотация

В работе предложена модель определения величины объемов привлечения специализированных субподрядных услуг для обеспечения рационального использования ограниченных ресурсов организации-исполнителя, которая позволяет осуществить рациональное распределение ограниченных ресурсов организации-исполнителя по критических областях совокупности работ с определением их организационно-технологических характеристик.

Ключевые слова: субподряд, строительное предприятие, объем работ

Annotation

The paper proposed a model of determining the value of amounts of specialized subcontracting services to ensure efficient use of the limited resources of the organization. It allows you to efficiently allocate limited resources on critical areas of the organization works to identify their organizational and technological parameters.

Keywords: subcontracting, construction company, amount of work