

А. В. РАДКЕВИЧ (ДІТ), Т. В. ТКАЧ (Придніпровська державна академія будівництва і архітектури, Дніпропетровськ)

## МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ НА СТАДІЇ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУВАННЯ БУДІВНИЦТВА

Розроблено та досліджено систему обґрунтування надійності організаційно-технологічних рішень на основі інформативної та математичної сумісності вирішуваних задач.

*Ключові слова:* Результативність, комплексний укрупнений сітьовий графік, інвестування, капітальні вкладення, ризик, проект, математичний метод, планування, регулювання, управління, вірогідність, трудомісткість, контроль

### Вступ

З метою поліпшення управління, планування і контролю за виконанням найважливіших проектів, що зводяться будівельними організаціями в практику будівництва впроваджуються узгоджені замовником, підрядчиками і іншими співвиконавцями сітьові графіки на виробництві всіх видів робіт.

### Постановка задачі

Метою даної статі є задача ув'язки і збалансованості програми робіт з трудовими і матеріальними ресурсами, а також із заданими термінами реалізації відрізняється складністю, великим розміром, комбінаторним характером і є багатоваріантною за своєю природою. Така задача може бути вирішена не тільки на основі моделювання процесів відновлення об'єктів, але і з урахуванням сучасного досягнення в області системотехніки, системного аналізу і використання економіко-математичних методів і засобів обчислювальної техніки [5].

Комплекс будівельних об'єктів любого призначення є складною системою проектів, що вимагає регламентації в часі і просторі великої кількості різноманітних ресурсів, відрізняється масштабністю, динамічністю і має вірогідний характер.

Відповідно встановлені укрупнені норми по трудомісткості робіт. Наприклад, в роботі по бетонуванню каркасу будівлі окрім основної роботи (укладання бетонної суміші) – включається цілий ряд супутніх робіт, таких як установка опалубки, армокаркасів і армосіток, установка окремих стрижнів і закладних деталей, ізоляційні і інші роботи.

До сумарної трудомісткості по кожному об'єкту додані інші роботи, які не увійшли до основних.

За технологією виробництва робіт виконана їх ув'язка з метою отримання закінченої структури об'єктів, які зводяться. Виходячи з умови обмеження по термінах реалізації  $T_3 = 62$  дн., інтенсивності бетонування (не менше  $100 \text{ м}^3/\text{добу}$ ), чисельності робітників у три зміни (не більше 100 чол.), прийнята стратегія визначення концентрації трудових ресурсів, що відповідає дотриманню обмежень по інтенсивності виробництва і тривалості кожного комплексу робіт –  $t_{ij}$ . Слід зазначити, що всеосяжні обмеження по термінах, сумарній інтенсивності бетонування і залученні трудових ресурсів затрудняють рішення задачі.

Тут має місце випадок, де запити практики не зважають на закономірності і принципи вироблення рішень. Наприклад, якщо як мету вибрати дотримання  $T_3$ , то інші, тобто трудові і матеріально-технічні ресурси повинні забезпечити термін; якщо обмежена інтенсивність бетонування, то слід шукати мінімальний термін, що задовольняє її.

Проте задачу необхідно вирішувати так, як вимагають обставини, тому тут має місце компроміс, тобто слід погоджувати потреби з можливостями, реалізованими в спеціальному підході.

### Основна частина

На основі ухвалених рішень  $t_{ij}/n_{ij}$ , виконаний розрахунок тимчасових параметрів КУСГ на ЕОМ за програмою GRAF для виявлення критичного шляху і робіт  $(i, j) \in T_{кр}$ . Обчислювальний комплекс GRAF має обширну можливість, в даному випадку нас цікавлять  $T_{кр} \leq T_3$ . Встановити компроміс між  $T_3$  і інтенсивністю бетонування можливо за умови, що задача по-

винна ставитися, виходячи з умови багатоваріантності. Це можна досягти шляхом введення в обмеження організаційно-технологічних особливостей виконання сформованих комплексів робіт.

Умови задачі вимагають для КУСГа формувати ресурсно-тимчасову матрицю значень  $\varphi t_{ij} / R_{ij} \varphi$ , що враховує значення варіантів виконання робіт

$$t_{\min} / R_{\max} - t_{\max} / R_{\min}.$$

Кожний рядок матриці (вектор-рядок) є можливими комбінаціями інтенсивності бетонування і відповідні їм тривалості.

Кожний стовпець матриці (вектор-стовпець) представляє один з допустимих варіантів виконання КУСГ за тривалістю, так що  $R_{\max} - t_{\min}$ ,  $R_{\min} - t_{\max}$  при цьому, якщо розрахувати КУСГ по  $t_{\min}$ , то набудемо технологічно мінімальне теоретичне значення  $T_{\min}$ , а якщо покласти  $t_{\max}$ , то набудемо аналогічно максимальне значення  $T_{\max}$ . При цьому повинна дотримуватися умова:

$$T_{\min} \leq T_3 \leq T_{\max}.$$

Рішення задачі полягає в тому, щоб з кожного рядка (роботи) вибрати таку інтенсивність  $R_{ij}$  і їй відповідну  $t_{ij}$ , щоб одержати мінімальний критичний шлях при обмеженні на загальну сумарну інтенсивність. Розроблений метод розрахунку ресурсного завантаження сітьової моделі дозволяє автоматизувати розрахунок потреби у виконавцях і інтенсивність бетонування, а також визначити вартість робіт, що відображають технологію КУСГ, що значно полегшує вибір варіантів виробництва і подальшу оптимізацію рішень по кількісному критерію.

При відпрацюванні алгоритму коди робіт  $(i, j) \in A$  мають бути впорядковані. Для стохастичних робіт задано значення  $P(0 \leq P_{ij} \leq 1)$  – імовірність появи роботи. Для решти робіт і фіктивних робіт  $P_{ij} = 1$ . При цьому для фіктивних робіт завжди  $a_{ij} = b_{ij} = 0$ . Для реальних робіт може бути  $a_{ij} \neq b_{ij}$  або  $a_{ij} = b_{ij}$ . Заданося числом розігрувань  $N_1$  та інтервалів  $M$  на осі  $T$ .

Дії алгоритму починаємо з п. 1.

1. Визначаємо сітьову модель при  $\tau_{ij} = a_{ij}$  для робіт, де  $P_{ij} = 1$  при  $P_{ij} < 1$   $\tau = 0$  (стохастичні роботи виключаємо) знаходимо  $T_{\min}^*$ .

2. Розраховуємо модель при  $\tau_{ij} = b_{ij}$  для всіх робіт і визначаємо  $T_{\max}^*$ .

3. Знаходимо інтервал  $\Delta T_s = (T_{\max}^* - T_{\min}^*) / M$ , де  $M$  – кількість заданих інтервалів (у програмі MONTE  $M = 30$ ).

4. Визначаємо межі інтервалів на числовій осі  $T$ :  $T_1 = T_{\min}^* + \Delta T$ ,  $T_2 = T_{\min}^* + 2\Delta T$  або  $T_2 = T_1 + \Delta T$ ,  $T_M = T_{\min}^* + M\Delta T \dots$

Виконуємо  $N_1$  розігрувань сітьової моделі. Підготовку до наступного розігрування зводимо до визначення величини  $\tau_{ij}$  для всіх робіт.

5. Якщо  $a_{ij} = b_{ij}$ , то  $\tau_{ij} = a_{ij}$ ;

якщо  $a_{ij} \neq b_{ij}$  і  $P_{ij} < 1$ ;

якщо  $a_{ij} \neq b_{ij}$  і  $P_{ij} = 1$ .

6. Генеруємо випадкове число  $\varepsilon_3$  за законом рівномірного розподілу в інтервалі від 0 до 1. Якщо  $P_{ij} < \varepsilon_3$ , беремо  $\tau_{ij} = 0$ , якщо  $P_{ij} \geq \varepsilon_3$ .

7. Генеруємо два випадкові числа  $\varepsilon_1$  та  $\varepsilon_2$  за законом рівно ймовірного розподілу кожного в інтервалі  $[0, 1]$ .

8. Визначаємо  $\tau_{ij} = (b_{ij} - a_{ij})\varepsilon_1 + a_{ij}$

$$P(\tau) = \frac{12}{(b_{ij} - a_{ij})^4} (\tau_{ij} - a_{ij})(b_{ij} - \tau_{ij})^2 q = \frac{16}{9} \frac{\varepsilon_2}{(b_{ij} - a_{ij})}$$

9. Якщо  $q \leq P(\tau)$ , беремо  $\tau_{ij} = \tau_1$ ; якщо  $q > P(\tau)$ .

10. Коли визначено  $\tau_{ij}$  для всіх робіт, розраховуємо сітьову модель і знаходимо  $T$ , тобто починаємо черговий розіграш моделі.

11. Визначаємо інтервал на числовій осі, куди попадає  $T$  біжуче, тобто збільшуємо число реалізації цього інтервалу  $N/N$  на одиницю.

12. Виконавши  $N_1$  розіграшів, знаходимо значення для інтервалів

$$\sum NN = N_1 F1_m = NN_m / N_1, F2 = F1_m / \Delta T, \sum^m F1_m = 1.$$

Алгоритм дозволяє будувати графік ресурсного завантаження по виконавцях –  $N$ , по інтенсивності виконання робіт –  $R$ , за освоєною кошторисною вартістю –  $C$ . Оптимізація по  $R$  або  $N$  ( $T$  – «плаваюча» змінна) дозволяє ущі-

льніти сітвовий графік за рахунок скорочення резервів часу до 20 %, понизити максимальну добову інтенсивність ведення робіт шляхом збільшення рівномірності виробництва робіт, зменшити термін виконання будівельних робіт до 10 % [1, 4].

Визначення найвірогіднішого терміну створення будівельних об'єктів на стадії ПОБ можливе тільки на основі застосування електронно-обчислювальної техніки.

Для досягнення мети передбачається використовувати метод статистичного моделювання процесів зведення на основі комплексного укрупненого сітвового графіка (КУСГа), що є канонічною моделлю типу тимчасова модель – вірогідна з детермінованою структурою (топологією). [3, 6].

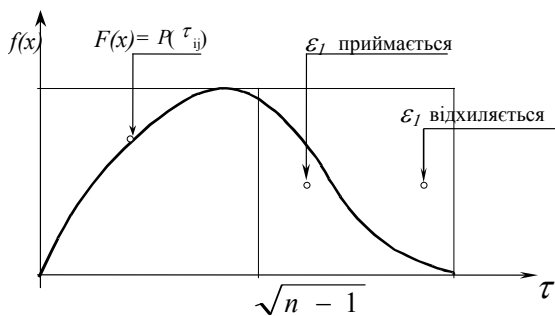


Рис. 1.1. Графік щільності  $\chi$  – розподілу

Передбачається, що час реалізації кожної операції  $(i, j) \in A$  є випадковою величиною з областю її зміни  $[d_{ij} - D_{ij}]$ . Розрахунок укрупненої сітвової моделі при  $\tau_{ij} - d_{ij}$  і  $\tau_{ij} - D_{ij}$  дозволяє встановити теоретичні організаційно-технологічні особливості на реалізацію різних варіантів –  $T^d$  і  $T^D$ . Ці результати співпадають з даними моделі, розглянутої в табл. 1.1. Початкові дані приведені в табл. 1.1.

Допустиме рішення для даного прикладу знаходиться в межах встановлених меж

$$T^d \leq T_n \leq T^D, \quad 69 \leq 72 \leq 82.$$

Значення  $T^d$ ,  $T^D$  визначають можливі крайні терміни реалізації моделі, для кожної операції визначається випадкова величина  $\varepsilon$ , розподілена в інтервалі  $[0, 1]$  рівномірно, а саме такого роду випадкові послідовності генеруються програмним способом, і зведення до випадкової величини  $\tau_{ij}$ , розподіленої в інтервалі  $[d_{ij} \div D_{ij}]$ .

Передбачається, що  $(i, j) \in A$  незалежні, а відповідні їм випадкові величини некорельовані.

Початкові дані для роботи програми MONTE  
Число розігрувань – 200, число робіт – 7

№ NN	Коди робіт	$d_{ij}$	$D_{ij}$	$P(\tau)$
1	101 – 102	21	24	1,0
2	101 – 103	15	21	1,0
3	103 – 103	21	25	1,0
4	102 – 104	22	27	1,0
5	103 – 104	12	15	1,0
6	103 – 105	14	18	1,0
7	104 – 105	15	18	1,0

Вхідною інформацією для розіграшу моделі є значення кодів кожної операції, тобто  $(i, j) \in A$ ,  $d_{ij}$ ,  $D_{ij}$ ,  $P(\tau_{ij})$ ,  $N_1$  – число розіграшів укрупненої сітвової моделі ( $N_1 = 200$  в приведеному прикладі).

Складена програма MONTE передбачає два варіанти рішень: без урахування стохастичних робіт і з їх обліком.

При черговому розіграші моделі для кожної операції  $(i, j) \in A$ , у якій  $\tau_{ij} > d_{ij}$ , генерується випадкове число  $\varepsilon$  згідно із законом  $\beta$ -розподілу. Після визначення всіх значень тривалостей операцій –  $\tau_{ij}$  сітвова модель розраховується по стандартній підпрограмі, і встановлюється випадковий час її реалізації по одному з можливих варіантів числа –  $T_i$ . Визначається ділянка  $\Delta T_i$ , в якій потрапляє  $T_i$ . На друк (табл. 1.2) видається чотири масиви ( $T_i$ ,  $NN$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ):  $T$  – інтервал часу визначається по умові  $T_1 = T^d$ ,  $T_2 = T_1 + \Delta T_i$ ,  $T_3 = T_2 + \Delta T_1, \dots, T^D$ ;  $NN$  – кількість значень  $T$ , що потрапили в  $i$ -ту ділянку так, що  $\sum NN = N_1$ ; масив  $F_1$  використовується для побудови графіка статистичної функції розподілу  $T - F^*(T) = P(T \leq T_3)$ , масив  $F_2$  використовується для побудови графіка густини  $f(T)$ .

Для визначення вірогідності  $P(T)$  реалізації укрупненої сітвової моделі за будь-який заданий час  $T$  необхідно обчислити:

$$P(T) = \int_{T_{\min}^*}^{T_2} f(T) dT,$$

де  $T_{\min}^*$  – мінімальне статистичне значення  $T$ .

Таблиця 1.2

**Результати статистичного моделювання на ЕОМ за програмою MONTE**

$T_{\min} = 69$		$T_{\max} = 82$	
$T_i$	$NN$	$F_1$	$F_2$
69	0	0	0
...	...	...	...
71,0	3	0,0149	0,037
71,4	3	0,0149	0,037
71,8	13	0,068	0,160
72,2	3	0,0149	0,037
72,6	10	0,050	0,125
73,0	26	0,130	0,325
73,4	18	0,089	0,225
73,8	27	0,135	0,337
74,2	17	0,085	0,210
74,6	22	0,109	0,270
75,0	18	0,089	0,225
75,4	23	0,115	0,287
75,8	9	0,045	0,112
76,2	6	0,029	0,075
76,6	2	0,009	0,025
...	...	...	...
81,0	0	0	0

Оцінка близькості емпіричного розподілу  $T$  до теоретичного встановлена по критерію згоди Персона ( $\chi^2$ ). Проте для більшості практичних задач більш раціонально будувати графік  $F^*(T) = P(T \leq T_3)$ , і по ньому графічно визначати реалізацію моделі в заданий час – (див. рис. 1.1) Користуючись ним, не вдаючись до аналітичного розрахунку, можна встановити рівень організаційно-технологічної надійності (ОТН).

Межа допустимого ризику (МДР), як показало попереднє дослідження, знаходиться в наступному діапазоні:

$$0,35 \leq P(T) \leq 0,65.$$

При  $P(T) < 0,35$  небезпека порушення термінів настільки велика, що слід переглянути рішення як в частині організаційно-

технологічній, так і в частині заданих термінів, тобто змінити або потребу в трудових ресурсах у бік збільшення їх, або, при нагоді першого, переглянути терміни відновлення, що закладаються в ПОБі.

Якщо  $P(T) > 0,65$ , то доцільно переглянути рішення, оскільки на операціях  $(i, j) \in T_{kp}$  використовуються надмірні ресурси.

Загальна середня

$$T = \sum T_i \times NN / N_i = 14794,2 / 200 = 74.$$

Генеральна дисперсія

$$D = \sum NN(T_i - T)^2 / N_i = 314,41 / 200 = 1,51.$$

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{D} = 1,25.$$

У результаті роботи алгоритму статистичного моделювання (програма MONTE) одержаний результат представлений вище в табл. 1.2.

Для розглянутого прикладу, як вже вказувалося,  $T_{\min}^d = 69$  днів,  $T_{\max}^D = 82$  днів, статистичні значення в результаті використання програми MONTE складають  $T_{\min}^* = 71$  днів,  $T_{\max}^* = 76,6$  днів. На основі результатів розрахунку на ЕОМ будуємо графік статистичної функції розподілу вірогідності реалізації рішень, описаних в приведеній моделі (рис. 1.1). Встановлений термін будівництва  $T_3 = 72$  дні не входить в межу допустимого ризику (МДР), отже, рішення слід переглянути, оскільки вірогідність того, що об'єкт буде зданий в заданий час дуже низька (нижча МДР), тому термін повинен бути встановлений як мінімум в 73 дні.

### Висновок

Визначені організаційно-технічні аспекти формування програми результативності та діяльності будівельних підприємств пов'язані з багатоваріантними підходами вироблення рішень, ризиками та витратами, труднощами в плануванні, координації та реалізації будівельних проектів.

Розроблено підхід до оцінки вірогідності організаційно-технологічної надійності на основі методу статистичного моделювання.

Застосовані моделі розподілу капітальних вкладень на основі пошуку потоків мінімальної вартості в мережах з обмеженою пропускною спроможністю враховують організаційно-технологічні аспекти зведення будівель та спо-

руд, календарних термінів освоєння капіталовкладень з урахуванням вектору інвестування на підвищення результативності діяльності будівельних підприємств.

Запропонований підхід до системи обґрунтування надійності організаційно-технологічних рішень базується на єдності рішення задач та моделюванні, володіє інформативною і математичною сумісністю вирішуваних задач, простотою, доступністю та відповідністю до сучасних вимог.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Острейковский, В. А. Теория надежности [Текст]: учеб. для вузов / В. А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
2. Павлов, И. Д. Модели управления проектами [Текст]: учеб. пособ. / А. В. Радкевич. – Запорожье: ГУ «ЗИГМУ», 2004. – 320 с.

3. Пичугин, С. Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий [Текст]: монография. – Полтава: ООО «АСМИ», 2009. – 452 с.
4. Ушаков, И. А. Курс теории надежности систем [Текст]: учебн. пособие для вузов / И. А. Ушаков. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.
5. Хома, І. Б. Економіко-математичні методи аналізу діяльності підприємств [Текст]: навчально-методичний посібник / І. Б. Хома, В. В. Турко. – Л.: Вид-во нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2008. – 326 с.
6. Чирков, В. П. Прикладные методы теории надежности в расчетах строительных конструкций [Текст]: учеб. пособ. для вузов. – М.: Маршрут, 2006. – 620 с.

Надійшла до редколегії 27.02.2012.

Прийнята до друку 22.03.2012.

А. В. РАДКЕВИЧ (ДИИТ), Т. В. ТКАЧ (Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, Днепропетровск)

### **МОДЕЛИ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ НА СТАДИИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА**

Разработано и исследовано систему обоснования надежности организационно-технологических решений на основании информативной и математической совместимости решаемых задач.

*Ключевые слова:* Результативность, комплексный укрупненный сетевой график, инвестирование, капиталовложение, риск, проект, математический метод, планирование, регулирование, управление, вероятность, трудоёмкость, контроль

A. V. RADKEVICH (Dniepropetrovsk National University of Railway Transport),  
T. V. TKACH (Prydniprovs'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Dniepropetrovsk)

### **MODELS OF OPTIMUM APPORTIONMENT OF CAPITAL INVESTMENTS ON STAGE OF THE CALENDAR PLANNING OF CONSTRUCTION**

Developed and studied the system reliability study of organizational and technological solutions on the basis of informative and mathematical tasks.

*Keywords:* Performance, an integrated network schedule enlarged, investing, investment, risk, project, a mathematical method, planning, regulation, management, probability, complexity, control