

БУДІВНИЦТВО

УДК 004.415:69

В. І. Бабіч, к. т. н.;

І. М. Перевертун, асп

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГНУЧКИХ ТЕХНОЛОГІЙ РЕГІОНАЛЬНОГО БУДІВНИЦТВА ЗАСОБАМИ «KARTS PLANNER 1.0»

Розглянуто запропоновані авторами нові підходи до управління будівництвом, а також реальні приклади використання власної системи управління будівництвом «Karts Planner 1.0». Виділено низку актуальних проблем будівельних корпорацій (тривалий час підготовки документації, великий апарат для здійснення управління тощо), а також запропоновано низку наукових завдань та елементів новизни для їх розв'язання.

Вступ

Для комплексного та адекватного імітаційного моделювання технологічних процесів у будівництві розглядатимемо два об'єкти управління: існуючий, і той, до якого треба прагнути.

Об'єкт управління

Об'єкт управління *сьогодні* — це комплекс технологічних процесів у будівництві (виробництво, будівельні роботи, складування, транспортування, комплектація). Об'єкт управління *завтра* — це комплекс технологічних процесів у будівництві «сьогодні» + сателітна технологія як нова та гнучка (керована) транспортно-накопичувальна система (ТНС).

Актуальність

Актуальними задачами *сьогодні* є:

1. Скорочення персоналу задіяного на ТПБ (технологічній підготовці будівництва), а також плануванні та управлінні з метою підвищення гнучкості прийняття рішень і зниження витрат.
2. Зменшення часу на підготовку проектно-кошторисної документації (локальні кошториси, ліміти на виробі і т. д.) та її здача до початку будівництва або на його початкових етапах.
3. Організація наскрізного замкненого циклу управління будівництвом (CAD/CAP/ CAM).

Актуальнимим задачами *завтра* будуть:

1. Наскрізна керованість процесів виробництва, комплектації, транспортування та складування будівельних матеріалів. Інтеграція з процесами планування будівництва та складського обліку.
2. Організація регіонального будівництва в Україні (в радіусі 1 тис. км.) силами наявних будівельних організацій.

Мета

Метою «сьогодні» є розробка комплексного підходу до розв'язання задач наскрізного управління будівництвом з забезпеченням при цьому швидкості та ефективності технологічної підготовки, планування та обліку з використанням мобільних засобів (планшетних комп'ютерів, ноутбуків). Для досягнення цієї мети було визначено та розв'язано **низку наукових завдань**:

1. Розробка єдиної організаційно-технологічної моделі (ОТМ) як для директивного (об'ємно-календарного), так і для календарного та оперативно-календарного планування будівництва.

2. Розробка моделей та інструментальних технологій для забезпечення ефективної технологічної підготовки та оперативного управління будівництвом з розрахунку «1 робоче місце — 20 ТНЗ (технологічно незалежних об'єктів)». ТНЗ може бути житловий будинок, торговий центр і т. д.

3. Створення моделей та алгоритмів для комплексного балансування будівництва та вилучення дефіцитів за умов необмеженої множини ресурсів та пріоритетності об'єктів будівництва.

4. Розробка моделей для детального опису технології будівельно-монтажних робіт з врахуванням конструктивів (плит, пілонів, шахт ліфта і т. д.), виконавців (бригад, БМУ, субпідрядників), ресурсів та процесів в хвилинах (з перспективою виходу на робото-технологічні комплекси).

5. Розробка основ для імітаційного моделювання регіонального будівництва з виходом на інтегральні графіки виробництва матеріалів, їх комплектації, транспортування і складування.

Наукова новизна

1. Запропоновано комбінований метод організаційно-технологічного моделювання об'єктів серійного будівництва з використанням лінгвістичних засобів (мова «КАРТС»).

2. Запропоновано технологію комплексного балансування будівництва (метод «КАРКАС»).

3. Авторами розроблено інструментальну технологію (програмний комплекс «Karts Planner 1.0») класу MRP-2 для управління будівництвом на основі інформаційних об'єктів (інформоб'єктів) як нових та типових моделей детального опису технології будівельно-монтажних робіт.

Комбінований метод

Комбінований метод ОТМ об'єктів серійного будівництва включає:

1. Лінгвістичні засоби (мову «КАРТС») для детального, швидкого та інтерактивно зручного опису («до гвіздка») технології будівельно-монтажних робіт як багаторівневої метамережі [1]. Модель «КАРТС» [1—3] є засобом детального опису технології та імітаційного моделювання.

2. Об'єднання існуючих організаційно-технологічних моделей (лінійні графіки, графіки Гантта та мережеві) в одну модель та їх розширення (фрагменти, цикли, виконавці, інтенсивність).

3. Розширену класифікацію ресурсів у будівництві за календарем, виконавцем та інтенсивністю.

Розглянемо даний метод на реальному прикладі. Будинок по вул. І. Пулюя, 2—4 є чотирнадцятиповерховим житловим комплексом. Процеси зведення секцій № 5-4, 1-2 та 3 є технологічно незалежними, тому розіб'ємо опис комплексу на 3 відповідних текстових файли мовою «КАРТС»:

Object:

```
$Земл #16 @ЗЕМЛЯНЫЕ_РАБОТЫ «Котлован»
$Фунд #8 +24 (@5_секция_СВАИ @4_секция_СВАИ) «Сваи»
$СМУ3-Райк #8 +24 <@5_секция_РОСТВЕРК @4_секция_РОСТВЕРК> +96 «Ростверк»
#8 +12 <@5_СЕКЦИЯ_Цокольный_этаж @4_СЕКЦИЯ_Цокольный_этаж> «Цоколь»
$СМУ2-Кондр +96 <#8 (@5_СЕКЦИЯ_1-14_этажи) #8 (+72 @4_СЕКЦИЯ_1-14_этажи)> «Надземная»
$Отд #12 <@5_секция_КРОВЛЯ @4_секция_КРОВЛЯ> «Кровля»
<#22 @5_СЕКЦИЯ_ОТДЕЛКА_1-14_этажи #22 @4_СЕКЦИЯ_ОТДЕЛКА_1-14_этажи>
«Внутренняя отделка».
```

Отже, розглянемо докладно опис технології монтажу цокольного поверху та надземної частини всього комплексу на прикладі секції № 5. Технологія монтажу цокольного поверху (рис. 1) підключається до «Karts Planner 1.0» (рис. 2) та описується мовою «КАРТС» таким чином (рос.):

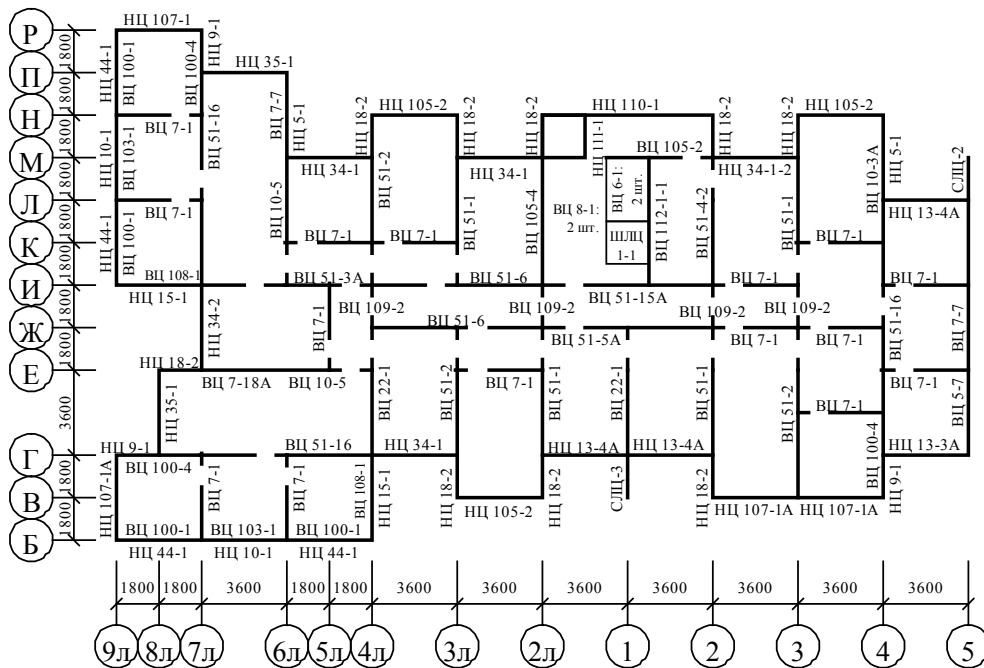


Рис. 1. План стін цокольного поверху секції № 5 (тип 92бі-7в) по вул. І. Пулюя, 2-4

Karts Planner 1.0 - "ул. Пулюя, 2-4, секц. 4-5"

Справочник Альбом Портфель Баланс Вид Окна Установки Справка

Fragment 5_СЕКЦИЯ_Цокольный_этаж:
 @Фундаментные_блоки_5_секции
 @Цоколь_92би_оси_9л-4л_И-Р @Цоколь_92би_оси_9л-4л_Б-И {оси 9л-4л}
 @Цоколь_92би_оси_4л-2л_И-Н @Цоколь_92би_оси_4л-2л_В-И {оси 4л-2л}
 @Цоколь_оси_2-2л_И-Н @Цоколь_оси_2-2л_Г-И {оси 2л-2}
 ВЦ5-7 ВЦ7-7 @Цоколь_7в-правая_оси_2-5_И-Н СЛЦ-2 @Цоколь_7в-правая_оси_2
 ВКП-1-200 ОГС-1^2;

№	Процесс	Начало	Завершен.	Цоколь	
				2 июнь 2006 г.	19 июнь 2006 г.
6.	5 СЕКЦИЯ Цокольный этаж	15.06.2006	23.06.2006		5 СЕКЦИЯ Цокольный этаж
7.	Фундаментные блоки 5 секции	15.06.2006	16.06.2006		Фц
8.	Цоколь 92би оси 9л-4л И-Р	16.06.2006	17.06.2006		Цс
9.	Цоколь 92би оси 9л-4л Б-И	17.06.2006	19.06.2006		Цоко
10.	Цоколь 92би оси 4л-2л И-Н	19.06.2006	20.06.2006		Ц.
1.	СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КО	шт	5548	92	558
2.	Подземной части	шт	300	77	123
3.	Надземной части	шт	2756		
4.	Плиты перекрытий	шт	1204	5	69
5.	Площадки и марши лестничные	шт	118		6
1.	Общая сметная стоимость, грн.	7434798.51	440251.41	9659.24	210092.34
2.	Трудозатраты, чел.-час	92140.445	2289.799	28.928	1217.468
3.	Машинозатраты, маш.-час	9293.966	480	20	282.5
4.	Железобетон, м3	9545.312	612.394	28.997	292.601

8 из 28

Рис. 2. Комплексний розрахунок секцій № 5-4 по вул. І. Пулюя, 2-4 в програмному комплексі «Karts Planer 1.0»

Fragment 5_СЕКЦИЯ_Цокольный_этаж:
 @Фундаментные_блоки_5_секции
 @Цоколь_92би_оси_9л-4л_И-Р @Цоколь_92би_оси_9л-4л_Б-И {оси 9л-4л}
 @Цоколь_92би_оси_4л-2л_И-Н @Цоколь_92би_оси_4л-2л_В-И {оси 4л-2л}
 @Цоколь_оси_2-2л_И-Н @Цоколь_оси_2-2л_Г-И {оси 2л-2}
 ВЦ5-7 ВЦ7-7 @Цоколь_7в-правая_оси_2-5_И-Н СЛЦ-2

@Цоколь_7в-правая_оси_2-5_В-И {оси 2-5} ВКП-1-200 ОГС-1^2;

Стандартні фрагменти опису монтажу цокольного поверху виконуються з розбиттям за цифровими та літерними осями (для передачі на АРМи виконавців) (рос.):

Fragment Цоколь_92би_оси_9л-4л_И-Р:

нц15-1 нц44-1 нц10-1 нц44-1 нц107-1А нц9-1 нц35-1 нц5-1 нц34-1 нц18-2 {НЦ}
вц100-1^2 вц103-1 вц51-16 вц100-4 вц108-1 вц7-1^2 вц10-5 вц7-7 вц51-3А вц51-2
вц7-1 {ВЦ} п7-21э п7-29 п7-30 п3-23 п7-24 п1-13э п9-31 п9-33 {П};

Fragment Цоколь_92би_оси_9л-4л_В-И:

нц15-1 нц44-1 нц10-1 нц44-1 нц107-1А нц9-1 нц35-1 нц18-2 нц34-2 {НЦ}
вц7-1 вц109-2 вц7-18А вц10-5 вц100-4 вц51-16 вц22-1 вц100-1^2 вц103-1 вц108-1
вц7-1^2 {ВЦ} п1-13э п7-22 п9-32 п3-23 п7-24 п7-21э п7-29 п7-30 {П};

Fragment Цоколь_92би_оси_4л-2л_И-Н:

нц105-2 нц18-2 нц34-1 нц18-2 {НЦ} вц51-1 вц51-6 вц7-1 вц105-4 {ВЦ} п3-28 п1-11
п9-33 п9-31 {П};

Результатом розрахунку програмного комплексу «Karts Planner 1.0», як бачимо, є календарні плани робіт, а також об'єктні норми за матеріалами, машинами (та механізмами), грошами і працевитратами, а також ресурсами типу «потужність».

Об'єктна норма $X_i^{(v)}$ варіанта v об'єкта i формалізується таким чином:

$$X_i^{(v)} = f\left(T_i^{(v)}, \sigma, K^{(1)}, K^{(2)}, K^{(3)}, \theta_i\right), v = \overline{1, V_i}, i = \overline{1, I}; \quad (1)$$

де $X_i^{(v)}$ — об'єктна норма варіанта v об'єкта i (множина значень потреби в ресурсах $X_{irt}^{(v)} \in X_i^{(v)}$); $T_i^{(v)}$ — технологія (у вигляді моделі «КАРТС») варіанта v об'єкта i ; σ — норми витрат ресурсів; $K^{(1)}$ — коефіцієнти календарних поправок до ресурсів; $K^{(2)}$ — коефіцієнти поправок виконавців до ресурсів; $K^{(3)}$ — коефіцієнти поправок інтенсивності до ресурсів; θ_i — календарний початок будівництва об'єкта i , $\theta_i \in [\theta_i^{(a)}, \theta_i^{(b)}]$.

Технологія комплексного балансування

Дана технологія включає:

1. Математичну модель балансування за всіма ресурсами типу «потужність» та видами дефіцитів;
2. Модель візуалізації «КАРКАС», що об'єднує обсяги, потужності та дефіцити (інтегрований, диференційований та складування) в один кольоровий 2-D гіперграфік.
3. Ітераційний алгоритм інтерактивного балансування з врахуванням пріоритетів об'єктів.
4. Алгоритм балансування з використанням імовірнісних моделей ризику.

Але розробка інформоб'єктів на мові «КАРТС» — це перший етап комплексного управління будівництвом. Тому перед тим, як переходити до наступних етапів (оперативного планування, управління комплектацією, транспортуванням та складуванням), треба розв'язати задачу вищого рівня — визначити директивні терміни зведення об'єктів з урахуванням обмежених потужностей.

Але перед розглядом математичної моделі даної задачі запровадимо деякі визначення.

Стан ресурсу $D_{rt}^{(0)}$:

$$D_{rt}^{(0)} = \sum_{\tau=1}^t X_{r\tau} - \sum_{\tau=1}^t P_{r\tau} = \sum_{\tau=1}^t (X_{r\tau} - P_{r\tau}) = D_{rt-1}^{(0)} + X_{rt} - P_{rt}; \quad (2)$$

$$X_{rt} = \sum_{i=1}^I x_{irt-\varrho}, \quad (3)$$

де t — календарний місяць періоду планування, $t = \overline{0, T-1}$; r — індекс ресурсу, $r = \overline{1, R}$; $D_{rt}^{(0)}$ — залишок/нестача ресурсу r в місяць t ; X_{rt} — інтегрована потреба в ресурсі r в місяць t ; P_{rt} — потужність ресурсу r в місяць t ; X_{irt} — ліміт ресурсу r в місяць t об'єкта i , $X_{irt} \geq 0$.

Диференційований дефіцит $D_{rt}^{(1)}$

$$D_{rt}^{(1)} = \max(X_{rt} - P_{rt}, 0). \quad (4)$$

Інтегрований дефіцит $D_{rt}^{(2)}$

$$\begin{aligned} D_{rt}^{(2)} &= \max\left(\sum_{\tau=1}^t X_{r\tau} - \sum_{\tau=1}^t P_{r\tau}, 0\right) = \max\left(\sum_{\tau=1}^t (X_{r\tau} - P_{r\tau}), 0\right) = \\ &= \max\left(D_{rt-1}^{(0)} + X_{rt} - P_{rt}, 0\right) = \max\left(D_{rt}^{(0)}, 0\right). \end{aligned} \quad (5)$$

Повний $D_{rt}^{(4)}$ та розрахунковий $D_{rt}^{(3)}$ дефіцит складування

$$D_{rt}^{(4)} = \max\left(\sum_{\tau=1}^t P_{r\tau} - \sum_{\tau=1}^t X_{r\tau} - L_r, 0\right) = \max\left(-D_{rt}^{(0)} - L_r, 0\right); \quad (6)$$

$$D_{mr}^{(3)} = \begin{cases} D_{rt}^{(4)}, & \text{якщо } \sum_{\tau=t+1}^T D_{r\tau}^{(2)} > 0; \\ 0, & \text{інакше,} \end{cases} \quad (7)$$

де L_r — обсяг приоб'єктного складування ресурсу r .

Повна P_{rt} та розрахункова P_{rt}^* потужність

$$P_{rt}^* = \begin{cases} \max\left(P_{rt} - D_{rt}^{(4)}, 0\right), & \text{якщо } \sum_{\tau=t+1}^T D_{r\tau}^{(2)} = 0 \text{ та } D_{rt}^{(4)}; \\ P_{rt} + D_{rt}^{(2)}, & \text{якщо } P_{rt}^* \text{ може бути } > P_{rt}; \\ P_{rt}, & \text{інакше.} \end{cases} \quad (8)$$

Розглянемо загальну математичну постановку задачі комплексного балансування.

$$z^{(1)} = \sum_{r=1}^R C_r \sum_{t=1}^T X_{rt} = \sum_{r=1}^R C_r \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I x_{irt-\Theta_i} = \sum_{i=1}^I \sum_{r=1}^R C_r \sum_{t=1}^T X_{irt-\Theta_i} \rightarrow \max; \quad (9)$$

$$z^{(1)} = \sum_{i=1}^I q_i \sum_{v=1}^{V_i} y_{iv} \sum_{r=1}^R C_r \sum_{t=1}^T x_{irt-\Theta_i}^{(v)} \rightarrow \max, \quad (10)$$

де C_r — вартість ресурсу r ; q_i — пріоритет об'єкта i , $q_i = \{0, 1, 2, \dots\}$; y_{iv} — чи обрано варіант v об'єкту i , $y_{iv} \in \{0, 1\}$; $x_{irt}^{(v)}$ — ліміт ресурсу r у місяць t варіанта v об'єкта i , $x_{irt}^{(v)} \geq 0$.

$$\begin{aligned} z^{(2)} &= \sum_{r=1}^R \lambda_r^{(2)} \sum_{t=1}^T D_{rt}^{(2)} = \sum_{r=1}^R \lambda_r^{(2)} \cdot \sum_{t=1}^T \max\left(\sum_{\tau=1}^t X_{r\tau} - \sum_{\tau=1}^t P_{r\tau}, 0\right) = \\ &= \sum_{r=1}^R \lambda_r^{(2)} \cdot \sum_{t=1}^T \max\left(\sum_{i=1}^I \sum_{\tau=1}^t x_{ir\tau-\Theta_i} - \sum_{\tau=1}^t P_{r\tau}, 0\right) \rightarrow \min; \end{aligned} \quad (11)$$

$$z^{(2)} = \sum_{r=1}^R \lambda_r^{(2)} \cdot \sum_{t=1}^T \max\left(\sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^{V_i} y_{iv} \sum_{\tau=1}^t x_{ir\tau-\Theta_i}^{(v)} - \sum_{\tau=1}^t P_{r\tau}, 0\right) \rightarrow \min; \quad (12)$$

$$\begin{aligned} z^{(3)} &= \sum_{r=1}^R \lambda_r^{(3)} \sum_{t=1}^T D_{rt}^{(4)} = \sum_{r=1}^R \lambda_r^{(3)} \cdot \sum_{t=1}^T \max\left(\sum_{\tau=1}^t P_{r\tau} - \sum_{\tau=1}^t X_{r\tau} - L_r, 0\right) = \\ &= \sum_{r=1}^R \lambda_r^{(3)} \cdot \sum_{t=1}^T \max\left(\sum_{\tau=1}^t P_{r\tau} - \sum_{i=1}^I \sum_{\tau=1}^t x_{ir\tau-\Theta_i} - L_r, 0\right) \rightarrow \min; \end{aligned} \quad (13)$$

$$z^{(3)} = \sum_{r=1}^R \lambda_r^{(3)} \cdot \sum_{t=1}^T \max \left(\sum_{\tau=1}^t P_{r\tau} - \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^{V_i} y_{iv} \sum_{\tau=1}^T x_{i\tau-\Theta_i}^{(v)} - L_r, 0 \right) \rightarrow \min, \quad (14)$$

де $D_{rt}^{(2)}$ — інтегрований дефіцит за ресурсом r у місяць t ; $\lambda_r^{(2)}$ — штраф за місячний інтегрований дефіцит одиниці ресурсу r ; $D_{rt}^{(4)}$ — повний дефіцит складування за ресурсом r у місяць t ; $\lambda_r^{(3)}$ — штраф за місячне переповнення складу одиницею ресурсу r .

$$z^{(1)} > z^{(2)} > z^{(3)}; \quad (15)$$

$$z = z^{(1)} - z^{(2)} - z^{(3)} \rightarrow \max; \quad (16)$$

$$z = \sum_{i=1}^I q_i \sum_{v=1}^{V_i} y_{iv} \sum_{r=1}^R C_r \sum_{t=1}^T x_{i\tau-\Theta_i}^{(v)} - \sum_{r=1}^R \lambda_r^{(2)} \cdot \sum_{t=1}^T \max \left(\sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^{V_i} y_{iv} \sum_{\tau=1}^t x_{i\tau-\Theta_i}^{(v)} - \sum_{\tau=1}^t P_{r\tau}, 0 \right) - \sum_{r=1}^R \lambda_r^{(3)} \cdot \sum_{t=1}^T \max \left(\sum_{\tau=1}^t P_{r\tau} - \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^{V_i} y_{iv} \sum_{\tau=1}^t x_{i\tau-\Theta_i}^{(v)} - L_r, 0 \right) \rightarrow \max. \quad (17)$$

Обмеженнями моделі є ранні та пізні терміни Θ_i — календарного початку будівництва об'єкта i , одночасний вибір лише одного варіанта v технології об'єкта i , а також перевага пріоритету об'єкта i над сумою пріоритетів таких об'єктів:

$$\Theta_i^{(a)} \leq \Theta_i \leq \Theta_i^{(b)}, \quad i = \overline{1, I}; \quad (18)$$

$$\sum_{v=1}^{V_i} y_{iv} = 1, \quad i = \overline{1, I}; \quad (19)$$

$$q_i > \sum_{j=i+1}^I q_j \sum_{v=1}^{V_j} y_{jv} \sum_{r=1}^R C_r \sum_{t=1}^T x_{j\tau-\Theta_j}^{(v)}, \quad i = \overline{1, I}, \quad (20)$$

де $\Theta_i^{(a)}$, $\Theta_i^{(b)}$ — ранній та пізній календарний початок будівництва об'єкта i .

Пошукові змінні:

$$\Theta_i - ?, \quad i = \overline{1, I}; \quad y_{iv} - ?, \quad i = \overline{1, I}, \quad v = \overline{1, V_i}.$$

Як бачимо, задача «КАРКАС» є задачею комбінаторного програмування, оскільки множина пошукових значень (варіантів технології та термінів початку будівництва) є скінченною (рис. 3).

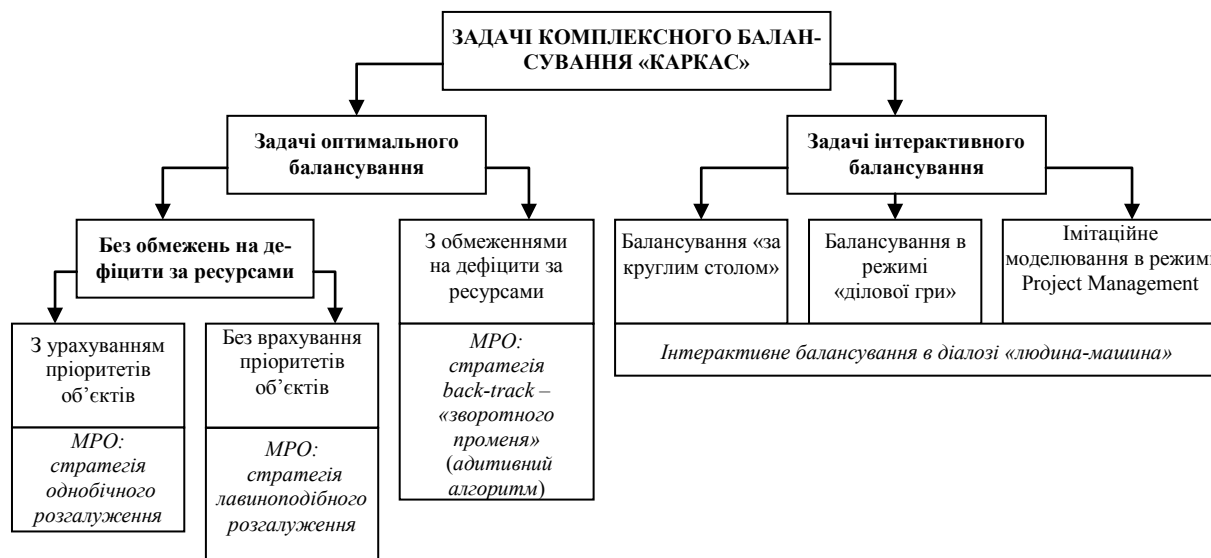


Рис. 3. Типи задач комплексного балансування та методи їх розв'язання

Програмне рішення

Ефективне розв'язання зазначених проблем становить ядро розробленої авторами системи управління будівництвом «Karts Planner 1.0». «Karts Planner 1.0» — це готове програмне рішення (зорієнтоване на міжнародну методику управління MRP2), яке застосовується на етапах технологічної підготовки, календарного (директивного, поточного) та фінансового планування (на основі ДБН Д.1.1 та РЕКН), а також оперативного обліку (термінів виконання, обігу матеріалів тощо) в будівництві. «Родзинкою» комплексу є детальний експрес-розрахунок термінів і витрат проекту для визначення договірних зобов'язань перед інвестором [1, 2].

Імітаційна модель

Але для того, щоб керувати підприємством (виробництвом) за допомогою ІТ, спочатку треба дослідити саме підприємство на керованість (гнучкість, технологічну зрілість). Проведені авторами дослідження демонструють загальну картину — однією з причин некерованості будівельних компаній є взаємозалежність монтажних і транспортних процесів [3].

Для підвищення гнучкості будівництва автори пропонують сателітну (палетну, контейнерну) технологію. Вона полягає в тому, що транспортна одиниця доставляє з заводу на об'єкт за розрахований комп'ютером інтервал часу контейнер з цеглою, залізобетонними виробами, столяркою тощо та забирає пустий. Ця технологія звільняє монтажний кран від розвантажувальних робіт, а також дає змогу застосовувати всі види транспорту (авто, залізничний, річковий) для будівництва на відстані більше 5000 км. Подібна технологія забезпечуватиме наскрізну керованість процесів виробництва будівельних матеріалів, їх транспортування та складування, а також монтажу. На цій основі автори планують створити гнучку імітаційну модель забудови регіонів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабіч В. І., Перевертун І. М. Порівняльний аналіз існуючих підходів до інтерактивного організаційно-технологічного моделювання будівельного виробництва // Проблеми программування. — 2005. — № 2. — С. 85—97.
2. Бабіч В. І., Перевертун І. М. Експериментальне дослідження організаційно-технологічного моделювання будівельних об'єктів засобами «Karts Planner 1.0» // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2005. — № 3. — С. 69—77.
3. Величко В. А., Бабич В. И. Система организации городского строительства. — К.: Будівельник, 1989. — 160 с.

Бабіч Віталій Іванович — доцент, **Перевертун Ігор Михайлович** — аспірант

Кафедра інформаційних технологій, Київський національний університет будівництва і архітектури