

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ДЛЯ ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНИХ ВИРОБНИЦТВ

### Визначення проблеми

Інвестування виробництва (в т.ч., житлового будівництва) в Україні є відомим явищем, але у замовників на етапі визначення зобов'язань перед інвестором та підготовки проектної документації часто виникають запитання:

1. Як швидко і точно порахувати терміни та кошти проекту, причому вхідною інформацією має бути детальна технологія з мінімумом суб'єктивності?
2. Як налагодити з мінімальними коштами та працевитратами комплексну організацію виробництва з використанням інформаційних технологій щодо якісної технологічної підготовки, обліку та управління проектами?

### Мова «КАРТС»

Автори розв'язали ці та ряд інших питань, поклавши в основу управління проектами інтелектуальні лінгвістичні засоби детального опису технології – мову «КАРТС», а також розроблену на її базі систему управління «Karts Planner» [1-3]. Наведемо деякі приклади застосування мови «КАРТС» в управлінні проектами.

Розглянемо приклад технології, де необхідно комбінувати зв'язки між роботами та їх часові відношення (комбінація мережевого та лінійного графіків технології будівництва об'єкта). Робота p1 може початися залежно від відсотку виконання роботи p3 [1]. Запишемо технологію на мові «КАРТС» (рис.1):

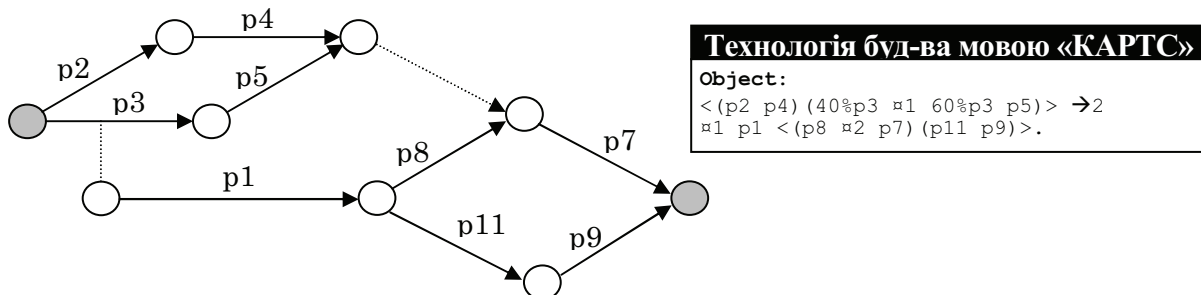
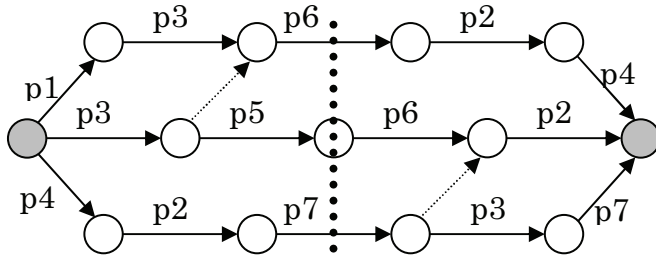


Рисунок 1 – Технологія з комбінацією мережевого і лінійного графіків

Розглянемо приклад технології об'єкта, частина робіт якого вже виконана – «заморожені» об'єкти, перехідні об'єкти тощо. Необхідно врахувати виконані роботи, гнучко пасивізувавши їх [1]. Запишемо технологію на мові (рис.2):

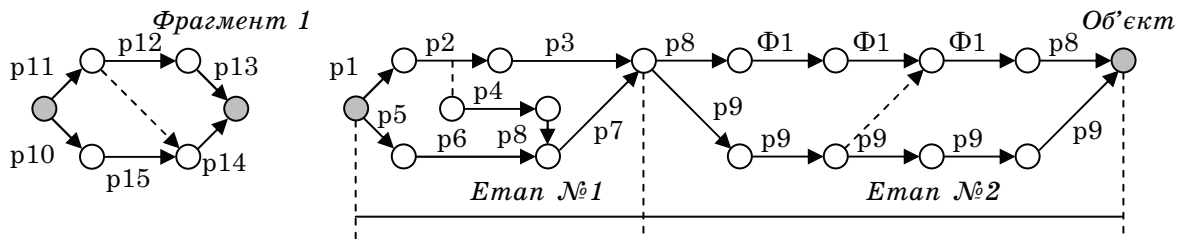


```

Технологія буд-ва мовою «КАРТС»
Object: <({p1 p3 #1 45%p6}
55%p6 p2 p4) ({p3 →1 p5} p6 #2 p2)
({p4 p2 60%p7} 40%p7 →2 p3 p7)>.
    
```

Рисунок 2 – Технологія об'єкта з частиною вже виконаних робіт

Розглянемо приклад технології будівництва, де наявні типові фрагменти. Фрагмент є аналогом підмережі, якщо розглядати технологію як мережу. Необхідно мати змогу зберігати дані фрагменти окремо та підключати їх до технології за потребою [1]. Запишемо даний приклад на мові «КАРТС» (рис.3):

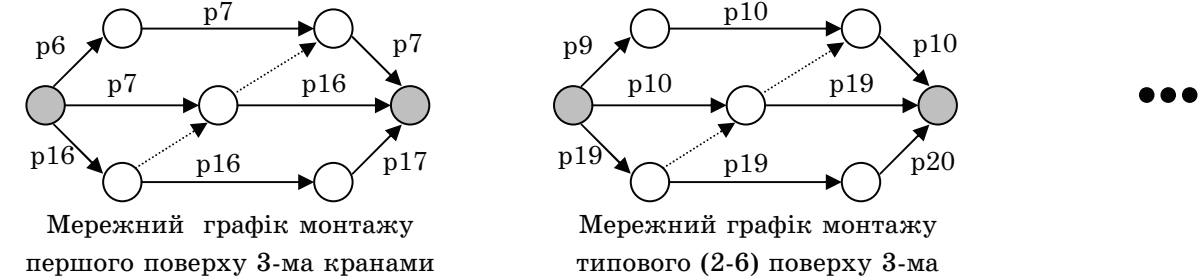


```

Технологія будівництва мовою «КАРТС»
Fragment 1: <(p11 →1 p12 p13) (p10 p15 #1 p14)>;
Object: <(p1 60%p2 #1 40%p2 p3) (p5 p6 #2 p7)> "ЕТАП 1"
<(p8 @1^2 #3 @1 p8) (p9^2 →3 p9^3)> "ЕТАП 2" #1 p4 8 →2.
    
```

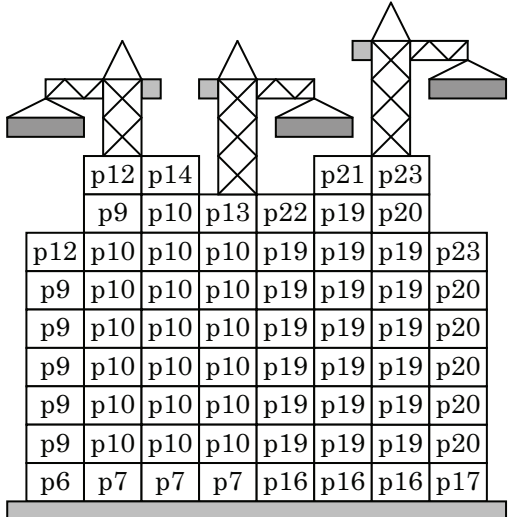
Рисунок 3 – Технологія з використанням типових фрагментів

Розглянемо приклад технології монтажу багатоповерхового житлового будинку, яку треба детально описати, маючи лише ескіз даного будинку (а не його детальне креслення) [3]. Запишемо два аналогічні приклади (рис.4):



Мережний графік монтажу першого поверху 3-ма кранами

Мережний графік монтажу типового (2-6) поверху 3-ма

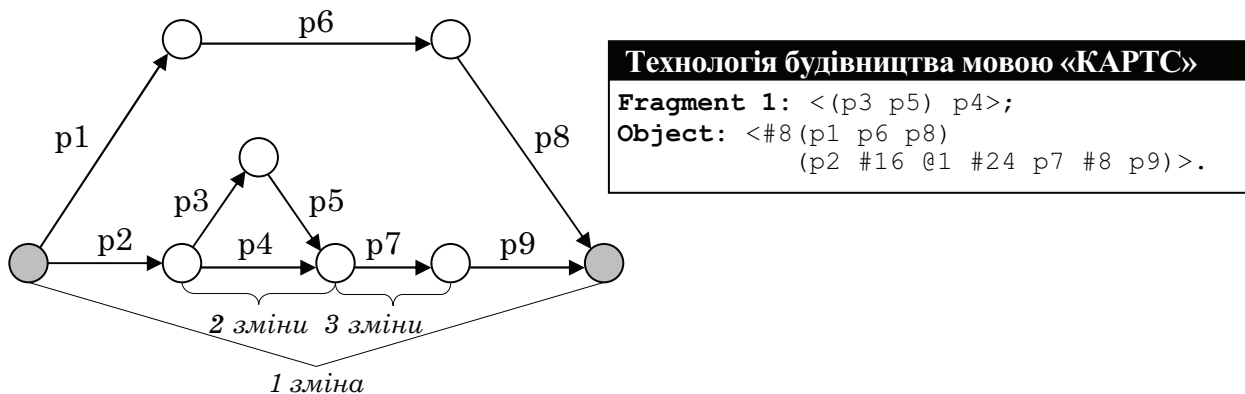


```

Технологія будівництва мовою «КАРТС»
Fragment 1: <(p6 p7 #1 p7) (p7 →1 #2 p16)
              (p16 →2 p16 p17)>;
Fragment 2: <(p9 p10 #1 p10) (p10 →1 #2 p19)
              (p19 →2 p19 p20)>;
Fragment 7: <(p12 p10 #1 p10) (p10 →1 #2 p19)
              (p19 →2 p19 p23)>;
Fragment 8: <(p9 #1 p10) (p13 →1 #2 p22)
              (p19 →2 p20)>;
Fragment 9: <(p12 p14) (p21 p23)>;
Object : #16
$1 <p1^4 p1^4> "Влаштування котловану"
$2 <p2^4 p3^4> "Забиття паль"
$3 <p4^4 p5^4> "Влаштування фундаменту"
$4 @1 @2^5 @7 @8 @9 "Монтажні роботи".
    
```

Рисунок 4 – Технологія монтажу житлового будинку

Розглянемо технологію будівництва, де наявні вкладені паралельні процеси. Необхідно мати змогу в режимі інтерактивної «ділової гри» гнучко призначати інтенсивності «гілці» робіт для усунення простоїв, мінімізації строків робіт та економії коштів [1]. Запишемо технологію на мові (рис.5):



```

Технологія будівництва мовою «КАРТС»
Fragment 1: <(p3 p5) p4>;
Object: <#8 (p1 p6 p8)
              (p2 #16 @1 #24 p7 #8 p9)>.
    
```

Рисунок 5 - Технологія зі складними паралельними процесами

### Обґрунтування мови «КАРТС»

Отже, як бачимо, мова «КАРТС» є більш зручним та швидким інструментом для опису складних технологій. Розглянувши дані приклади, перейдемо до визначення типу граматики мови «КАРТС».

Дана граматики може бути представлена у вигляді Бекусових нормальних форм (БНФ) таким чином:

```

<ПРОГРАМА> ::= <ОПИС ОБ'ЄКТА> | <БЛОК ФРАГМЕНТІВ> <ОПИС ОБ'ЄКТА>
<БЛОК ФРАГМЕНТІВ> ::= <ОПИС ФРАГМЕНТА> |
    <ОПИС ФРАГМЕНТА> <БЛОК ФРАГМЕНТІВ>
<ОПИС ФРАГМЕНТА> ::= "Fragment" <ідент. фрагмента> ":" <РЯД ОПЕРАТОРІВ> ";"
<ОПИС ОБ'ЄКТА> ::= "Object" ":" <РЯД ОПЕРАТОРІВ ТЕХНОЛ.> "."
<РЯД ОПЕРАТОРІВ> ::= <ОПЕРАТОР> | <ОПЕРАТОР> <РЯД ОПЕРАТОРІВ>
<РЯД ОПЕРАТОРІВ ТЕХНОЛ.> ::= <ОПЕРАТОР ТЕХНОЛ.> |
    <ОПЕРАТОР ТЕХНОЛ.> <РЯД ОПЕРАТОРІВ ТЕХНОЛ.>
<ОПЕРАТОР ТЕХНОЛ.> ::= <ОПЕРАТОР> | <ДОДАТК. ОПЕРАТОР>
<ОПЕРАТОР> ::= <РОБОТА> | <ВИКЛИК ФРАГМЕНТА> | <ТЕХНОЛОГІЧНА ПЕРЕРВА>
<ОПЕРАТОР> ::= <МІТКА> | <ФІКТИВНА РОБОТА>
<ОПЕРАТОР> ::= <МІТКА ПОЧАТКУ> | <ФІКТИВНА РОБОТА НА ЗАВЕРШЕННЯ>
<ОПЕРАТОР> ::= "(" <РЯД ОПЕРАТОРІВ> ")" | "<РЯД ОПЕРАТОРІВ>"
<ДОДАТК. ОПЕРАТОР> ::= <ЕТАП> | <ПЕРЕМИКАЧ>
<ДОДАТК. ОПЕРАТОР> ::= "(" <РЯД ОПЕРАТОРІВ ТЕХНОЛ.> ")" |
    "<РЯД ОПЕРАТОРІВ ТЕХНОЛ.>"
<РОБОТА> ::= <ідент. роботи> | <відсоток> "%" <ідент. роботи>
<РОБОТА> ::= <ідент. роботи> "^" <число повторів>
<РОБОТА> ::= <відсоток> "%" <ідент. роботи> "^" <число повторів>
<ВИКЛИК ФРАГМЕНТА> ::= "@" <ідент. фрагмента>
<ВИКЛИК ФРАГМЕНТА> ::= "@" <ідент. фрагмента> "^" <число повторів>
<ТЕХНОЛОГІЧНА ПЕРЕРВА> ::= "+" <години перерви>
<МІТКА> ::= "■" <код мітки> | "&" <код мітки>
<ФІКТИВНА РОБОТА> ::= "→" <код мітки>
<МІТКА ПОЧАТКУ> ::= "="
<ФІКТИВНА РОБОТА НА ЗАВЕРШЕННЯ> ::= "/"
<ЕТАП> ::= "" <назва етапу> ""
<ПЕРЕМИКАЧ> ::= <ПЕРЕМИКАЧ ВИКОНАВЦІВ> | <ПЕРЕМИКАЧ ЗМІН> |
    <ПЕРЕМИКАЧ КОМПЛЕКТІВ>
<ПЕРЕМИКАЧ ЗМІН> ::= "#" <години на добу>
<ПЕРЕМИКАЧ ВИКОНАВЦІВ> ::= "$" <код виконавця> | "*" <код виконавця>
<ПЕРЕМИКАЧ КОМПЛЕКТІВ> ::= "$" <ряд комплектів> "$"
<РЯД КОМПЛЕКТІВ> ::= <код комплекту> | <код комплекту> <ряд комплектів>

```

В наведених формах прописними літерами позначені нетермінальні символи мови «КАРТС» (конструкції мови), а строкowymi – термінальні (лексеми). Головним нетерміналом (т.з. «реченням» або «аксіомою» граматики) є <ПРОГРАМА>. Як бачимо, характерною ознакою даної мови є її висока рекурсивність та структурованість.

Як ми знаємо, згідно ієрархії Хомського (Chomsky hierarchy) є чотири класи граматики та мов (від 0 до 3-ого), причому кожний наступний клас утворюється шляхом додаткового обмеження на

попередній. Єдиною вимогою до 2-ого класу граматики є наявність в лівій частині всіх продукцій лише одного нетерміналу [4]. Як бачимо з зазначених БНФ, ця умова виконується, отже граматика мови «КАРТС» належить до 2-ого класу. Інша ж відома назва цього класу – контекстно-вільні (КВ) граматики (context free), до яких, зокрема, належать і абсолютна більшість мов програмування (Pascal, C++ тощо).

Як відомо, будь-яку КВ-граматику можна представити за допомогою кінцевого автомату [5]. У нашому ж випадку, це кінцевий автомат  $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, q_k)$ , де  $Q$  – множина станів ( $F_;$ ,  $F_;$ ,  $F_{\alpha}$ ,  $F_{-}$ ,  $F_{\%}$ ,  $F_{\wedge}$ ,  $O_;$ ,  $O_{\alpha}$ ,  $O_{-}$ ,  $O_{\%}$ ,  $O_{\wedge}$ ,  $O_;$ ),  $\Sigma$  – множина припустимих вхідних символів ( $F, ;, O, ., (, ), \%, P, @, ^, +, ", \alpha, \rightarrow, \#$ ),  $\delta$  – множина переходів  $Q^*\Sigma$ ,  $q_0$  – початковий стан ( $F_;$ ), а  $q_k$  – кінцевий стан автомату ( $O_;$ ).

Вхідним алфавітом  $\Sigma$  граматики «КАРТС» є такі конструкції:  $F$  – заголовок фрагменту,  $;$  – завершення фрагменту,  $O$  – заголовок об'єкту,  $.$  – завершення об'єкту,  $($  – відкриття будь-якої дужки,  $)$  – закриття будь-якої дужки,  $\%$  – відсоток,  $P$  – робота,  $@$  – виклик фрагменту,  $^$  – цикл,  $+$  – перерва,  $"$  – етап,  $\alpha$  – мітка,  $\rightarrow$  – фіктивна робота,  $\#$  – будь-який перемикач (рис.6).

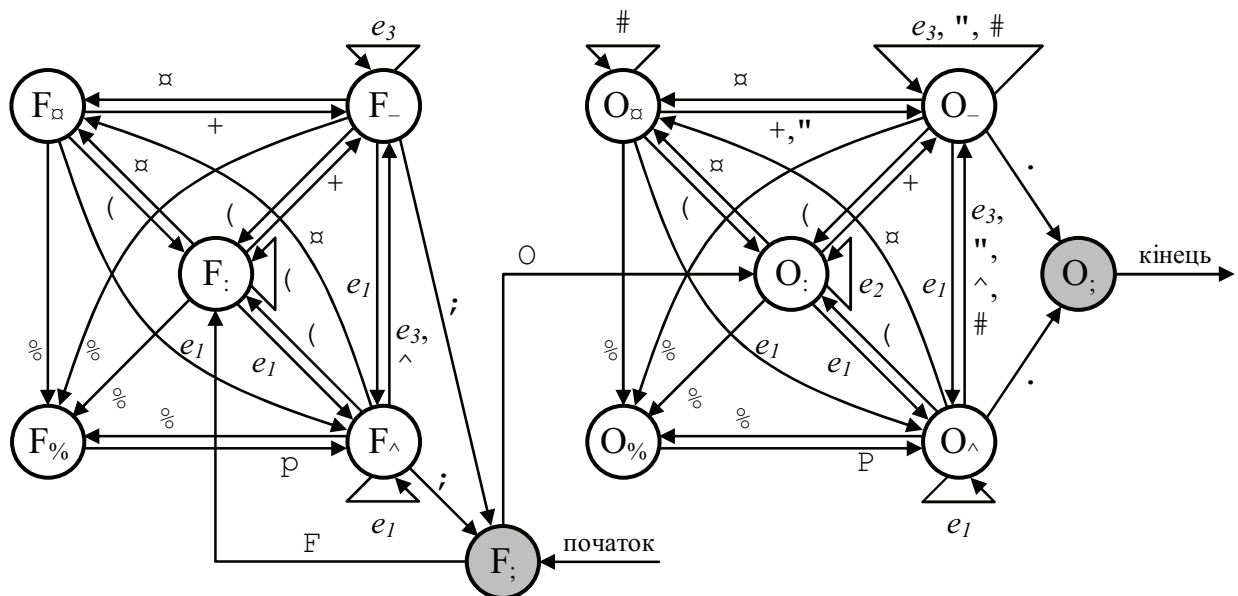


Рисунок 6 – Представлення граматики мови «КАРТС» як кінцевого автомату:

$e_1 = P, @$

$e_2 = (, \#$

$e_3 = ), +, \rightarrow$

Як відомо, кінцевий автомат є приведеним (а відповідна йому мова повною та незбитковою), якщо даний автомат не містить жодного недосяжного стану та жодної пари нерозрізнюваних станів [5]. Недосяжних станів запропонований автомат не має, оскільки з початкового стану  $F$ ; можна потрапити в будь-який інший стан  $q$  автомату  $M$ . Двох нерозрізнюваних станів  $q_1$  та  $q_2$  (тобто тих, які мають однакові ланцюжки з елементів алфавіту  $\Sigma$  до кінцевого стану  $F$ ;) автомат  $M$  також не має. Отже, граMATика мови «КАРТС» є повною та незбитковою.

### Місце мови «КАРТС» в структурі задач

Головною особливістю мови «КАРТС» є можливість її наскрізного використання на етапах ТПБ (технологічної підготовки будівництва), директивного планування об'єктів та оперативно-календарного (ОКП) планування окремих робіт для проектно-орієнтованого виробництва (рис.7)

Використання мови в процесі ТПБ полягає в розробці інформоб'єктів – детальних текстових моделей технології будівництва (без прив'язки до строків та календаря) на електронних носіях (CD, USB-пам'яті) з підключенням довідника технологічних операцій, кошторисів, календаря робіт і класифікатора ресурсів. Подібні детально пропрацьовані інформоб'єкти легко тиражуються між службами корпорації та складають повний електронний банк її будівництва. Зокрема, на основі інформоб'єктів здійснюється подальше директивне та оперативно-календарне планування.

Використання мови в процесі директивного планування полягає в корекції технології в тих випадках, коли неможливо виставити інформоб'єкти в часі таким чином, щоб уникнути дефіцитів при жорстко обмежених ресурсах.

Використання мови в процесі ОКП полягає в оперативному аналізі та прогнозуванні стану будівництва при виникненні наперед непередбачуваних випадків (перебої в постачанні, зміна виробітки бригад, погодні умови, тривалість робочого дня, інфляційні процеси) та оперативному реагуванні на них.

Але розробка інформоб'єктів на мові «КАРТС» (або іншими засобами) – це лише перший етап комплексного управління будівництвом. Тому перед тим, як переходити до наступних етапів (оперативно-календарного планування, комплектації та управління

транспорт), треба розв'язати задачу вищого рівня планування – визначити директивні (перспективні) терміни зведення об'єктів на строк від 1 до 5 років.

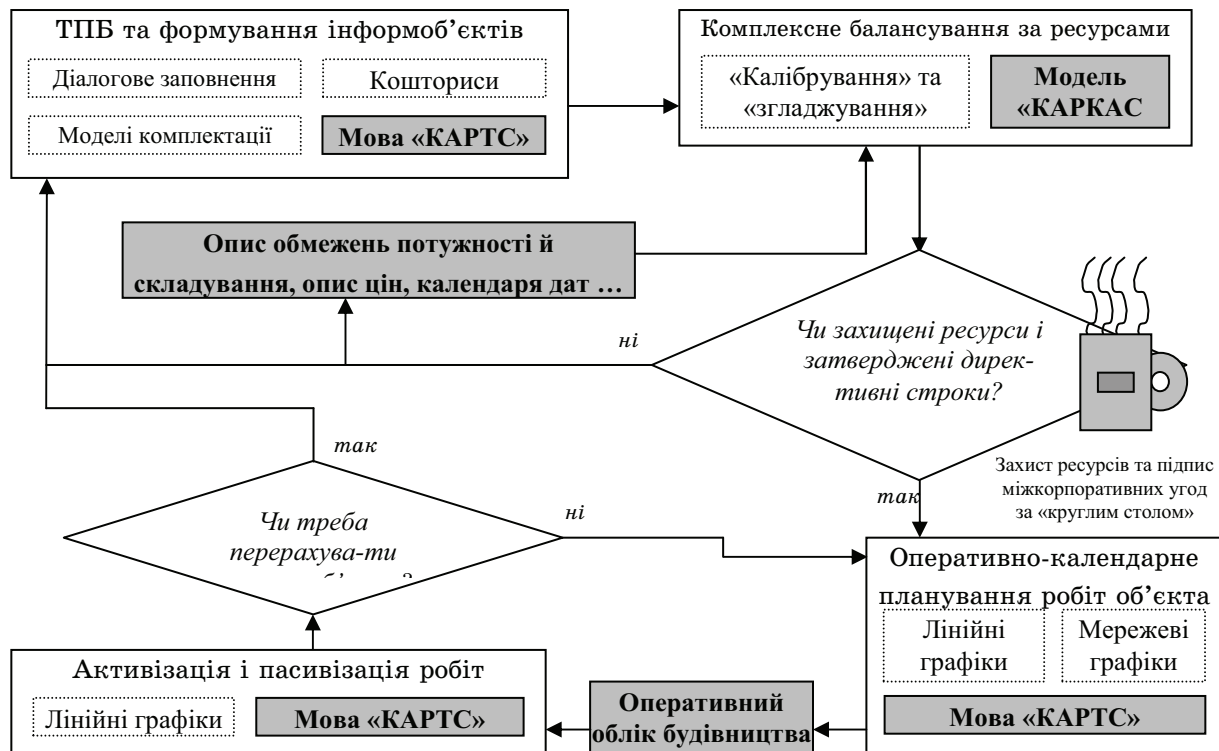


Рисунок 7 – Ітераційна схема прийняття управлінських рішень щодо розподілу ресурсів та визначення термінів у будівництві

Отже, з метою комплексного розв'язання проблем директивного планування в проектно-орієнтованому виробництві (наприклад, будівництві) автори пропонують метод комплексного балансування за потужностями – «КАРКАС». «Родзинкою» методу «КАРКАС» є швидкість прийняття рішення щодо виставлення в часі строків зведення об'єктів таким чином, щоб уникнути як надмірного так і неповного завантаження всіх потужностей за певний період. Потужностями, в даному випадку, є кошти, машино-(людино-)дні, конструктиви або матеріали, які виділяються для будівництва.

Суть же методу «КАРКАС» полягає в призначенні за комп'ютером строків початку будівництва попередньо прорахованим інформоб'єктам. Метою даної «ділової гри» є моделювання за періодами (рік, квартал, місяць) для кожного ресурсу диференційованих дефіцитів (надмірних завантажень), інтегрованих дефіцитів (нестач з накопиченням) та дефіцитів складу (неповних завантажень). Даний підхід дає змогу не лише мінімізувати всі

зазначені дефіцити, але й врахувати суб'єктивні оцінки (які неможливо формалізувати) учасників «круглого столу» (інвесторів, замовників, генпідрядників, постачальників матеріалів), щодо строків будівництва та розподілу ресурсів.

### Програмна реалізація

Зазначені підходи («КАРТС» та «КАРКАС») складають ядро розробленої авторами системи управління будівництвом «Karts Planner 1.0».

«Karts Planner 1.0» – це готове програмне рішення (орієнтоване 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, руху матеріалів тощо) в будівництві. «Родзинка» ж комплексу – це детальний експрес-розрахунок термінів та витрат проекту для визначення договірних зобов'язань перед інвестором (рис.8).

The screenshot shows the Karts Planner 1.0 software interface. The title bar reads "Karts Planner 1.0 - 'просп. Ватутіна, 22, жилой'". The menu bar includes "Справочник", "Альбом", "Портфель", "Баланс", "Вид", "Окна", "Установки", and "Справка". The toolbar contains various icons for file operations and project management. The main window displays project data for "Котлован", "Сваи", "Фундамент", and "Монтаж". Below this is a detailed table with columns for process number, process name, start date, end date, and resource requirements across three quarters of 2006.

№	Процесс	Начало	Завершен.	2006 г.		
				1 кварт.	2 кварт.	3 кварт.
				Котлован	Сваи	Фундамент
1.	Земляные работы	23.02.2006	28.04.2006	Земляные р		
2.	Забивка свай	28.04.2006	24.05.2006		Заб	
3.	Устройство фундамента	24.05.2006	09.08.2006			Устройство ф
52.	Раствор готов.кладочный тяж.цемен	м3	462.925			29.31 36.37
53.	Раствор готов.кладочный тяж.цемен	м3	20.328			2.047 1.353
54.	Раствор готов.отделочный цементны	м3	683.399			
55.	Раствор готов.отделочный цементно	м3	15799.939			
56.	Автомобили бортовые, груз.до5т	маш-час	5760.802		5.444 26.21	25.28 630.3 327.5
57.	Краны башенные, груз.5т	маш-час	6317.832		77.06 365.5	350.2 509.9 393.0
3.	Стоимость работ, грн.	16244079	1161165.63	3814 21711 2156	46780 1161 8884	1484 6324
4.	Зарплата рабочим, грн.	6291225.5	354872.5	946.4 5441. 5134.	4871 8065 7726	5880 2477
5.	- в т.ч. зарплата строителям, грн.	5176873.5	300764	63.22 363.5 487.5	2487 6267 6003	3864 1680

Рисунок 8 – Моделювання житлового будівництва в системі «Karts Planner 1.0»



### Розвиток підходу

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 та транспортних процесів. Будь-яке збурення в подібному взаємозв'язку зводить до нуля всі графіки робіт або транспортування (в жодній компанії Києва їх не дотримуються).

Для підвищення гнучкості будівництва автори пропонують сателітну (палетну, контейнерну) технологію. Вона полягає в тому, що транспортна одиниця доставляє з заводу на об'єкт за розрахованим комп'ютером інтервалом часу контейнер з цеглою, з.-б. 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 (рис.9).

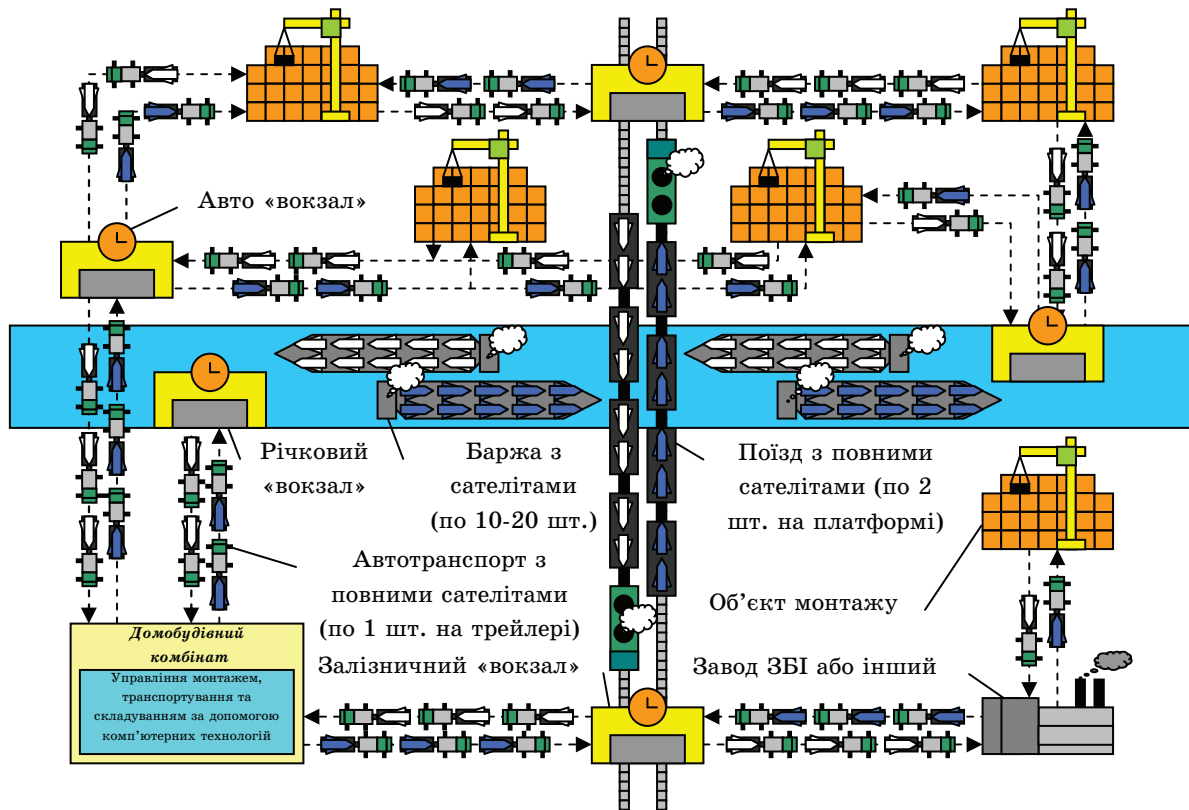


Рисунок 9 – Імітаційна модель регіональної забудови керована

«Karts Planner 1.0»

Сама ж система управління будівництвом «Karts Planner 1.0» (та закладені в неї інтелектуальні лінгвістичні засоби) експлуатується в холдинговій компанії «Київміськбуд» для гнучкого бізнес-планування регіонального будівництва.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабіч В.І., Перевертун І.М. Методика організаційно-технологічного моделювання будівельного виробництва в сучасних інформаційних технологіях // Проблеми програмування. Науковий журнал. - Київ, №4 2004. - С. 88-99.
2. Бабіч В.І., Перевертун І.М. Порівняльний аналіз існуючих підходів до інтерактивного організаційно-технологічного моделювання будівельного виробництва // Проблеми програмування. Науковий журнал. - Київ, №2 2005. - С. 85-97.
3. Бабіч В.І., Перевертун І.М. Експериментальне дослідження організаційно-технологічного моделювання будівельних об'єктів засобами «Karts Planner 1.0» // Праці VIII Міжнародної науково-

технічної конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2005). – Вінниця: ВНТУ. – С. 69-77.

4. Хантер Р. Основные концепции компиляторов: Пер. с англ. – М.: «Вильямс», 2002. – 256 с.
5. Ахо А., Ульман Дж. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – Т.1: Синтаксический анализ. – 611 с.