

УДК: 004.413.2:656.025.4

**В. І. Бабіч, к. т. н., доц.; Ю. А. Білик****КОМПЛЕКСНЕ УПРАВЛІННЯ АВТОТРАНСПОРТНО-ОРІЄНТОВАНИМИ СИСТЕМАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРВАЛЬНИХ ГРАФІКІВ**

*Статтю присвячено вирішенню проблем планування автотранспортних процесів на прикладі будівельної галузі. Розглянуто новий підхід до планування транспортно-накопичувальних процесів (ТНП), запропоновано класифікацію задач, моделі та методи оптимізації з чисельним прикладом. В основу нового підходу покладена модель інтервальних графіків транспортування, які вміщують максимальні резерви часу з метою забезпечення організаційної гнучкості та нечутливості до зовнішніх збурень.*

**Ключові слова:** автотранспортно-накопичувальний процес, інтервальний графік, резерв часу, рейс, послідовність, схема руху.

**1. Аналіз проблем планування транспортно-накопичувальних процесів****Актуальність та мета розробки**

В наш час проблема планування транспортування вантажопотоків у різних галузях народного господарства (торгівля, легка промисловість, будівництво та ін.) відіграє важливу роль. Сучасні підходи, які пропонуються різними авторами [1, 2], мають деякі недоліки, які ускладнюють їх практичне використання. Відповідно можна виділити наступні питання *актуальності* даної теми:

– детермінованість існуючих підходів до планування транспортних процесів, що робить їх чутливими, за умов частих збурень, та як наслідок неможливість їх практичного використання або управління лише в умовах логістики, тобто планування на один рейс;

– відсутність на сьогодні комплексного підходу, тобто неврахування виробничих потужностей постачальника та складських можливостей споживача, що призводить до неможливості наскрізного планування транспортних процесів.

*Головною метою* дослідження є розробка нового підходу щодо управління транспортно-накопичувальними процесами у виробництві на основі інтервальних графіків руху транспорту.

*Метою даної статті* є розгляд нового підходу у загальних рисах, класифікація задач та методів їх вирішення, детальний огляд деяких моделей з чисельними прикладами.

Для планування транспортних процесів буде використовуватися підхід [3] на основі наскрізних інтервальних графіків транспортування (ІГТ).

ІГТ називається графік руху для кожної одиниці транспорту, в якому задається замовлення доставки (номер, маршрут та максимальноможливий чи бажаний інтервал доставки), а також розраховані інтервали (резерви часу) відправлення від складів та інтервали прибуття на об'єкти. Інтервали вміщують резерви часу для забезпечення надійності транспортування, а також організаційні перерви (обід, перезмінка, вихідний день тощо).

Даний підхід забезпечує організаційну гнучкість, тобто надання можливості водію самостійно вирішувати такі проблеми, як затори на дорозі, незначні поломки та інші без зриву графіка транспортування. Водій орієнтується на розраховані інтервали відправлення та прибуття. Якщо водій не вкладається у резерви часу, то він зменшує організаційну перерву, орієнтується на інтервал замовлення, повідомляє по мобільному телефону диспетчера щодо

наступного свого рейсу з можливим перерахунком інтервального графіку. Такий підхід в задачах управління дозволяє перейти від моделей логістики, які на практиці інформаційних технологій не використовуються, до задач оперативно-календарного планування з періодом 3-10 днів.

Для початку представимо результат, якого бажано досягти при даному підході. Приклад розрахованого інтервального графіка транспортування з розбиттям по транспортних засобах представлений нижче (табл. 1). Інтервальні графіки в таблиці вміщують наступні дані:

- інтервали відправлення – інтервали, в які транспортний засіб (ТЗ) має завантажитись та відправитися від постачальника;
- інтервали прибуття – інтервали, в які ТЗ якомога швидше необхідно прибути до споживача та розвантажитись, при цьому організаційні перерви враховуються;
- № замовлення та об'єкта – вхідна інформація типу “що і куди” необхідно доставити;
- максимальні інтервали прибуття (замовлення) – вхідна інформація від диспетчера на яку необхідно орієнтуватись у випадку порушень розрахованих інтервалів прибуття.

Таблиця 1

## Розклад руху автотранспорту

Інтервали відправлення (дата/час)		Інтервали прибуття (дата/час)		№ замовле ння	№ об'єкта	Максимальні інтервали (замовлення)прибуття (дата/час)	
3	До	3	До			3	До
1	2	3	4	5	6	7	8
Транспортний засіб 1							
10.02/6.32	10.02/8.02	10.02/8.12	10.02/9.32	548	14	10.02/8.00	10.02/11.00
10.02/9.02	10.02/10.32	10.02/10.42	10.02/12.02	525	6	10.02/9.00	10.02/12.00
10.02/11.30	10.02/13.30	10.02/13.00	10.02/15.00	154	1	10.02/10.00	10.02/15.00
Транспортний засіб 2							
10.02/7.00	10.02/8.00	10.02/9.00	10.02/10.00	843	20	10.02/9.00	10.02/12.00
10.02/10.00	10.02/11.00	10.02/12.00	10.02/13.00	245	14	10.02/10.00	10.02/14.00
10.02/13.00	10.02/14.00	10.02/15.00	10.02/16.00	265	15	10.02/12.00	10.02/16.00

Для більшого розуміння далі пропонується графічне зображення розрахованого графіка руху транспортних засобів (рис. 1).

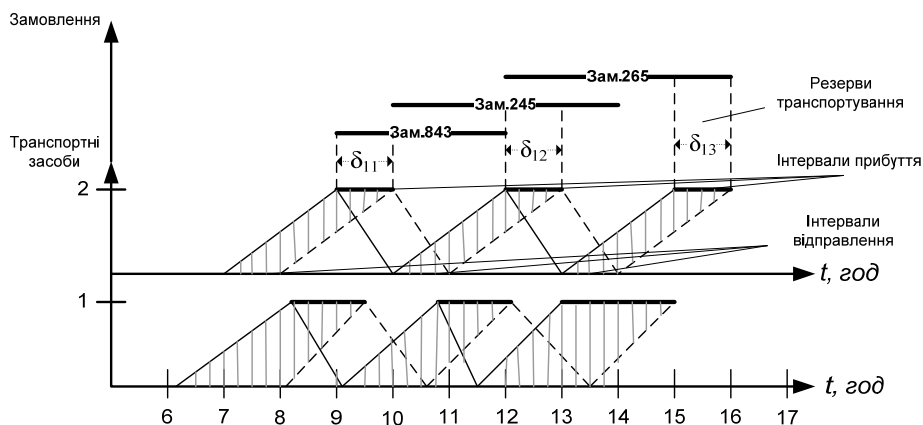


Рис.1. Графік руху автотранспорту

На даному графіку зображено інтервали прибуття та відправлення транспортних засобів і резерви часу транспортування у вигляді заштрихованої області, що має бути максимізована.

Так як розрахований час прибуття транспортних засобів заданий не детерміновано, а інтервалами. Це надає ряд наступних переваг:

вилучення збурень водієм самостійно або разом з іншими транспортними засобами чи

диспетчером (без перерахунків у системі управління), тим самим збільшення періоду управління;

система має високу організаційну гнучкість [4], яка може розраховуватись за формулою

$$K_{орг} = \left( 1 + \frac{\sum t_{прост} - \sum t_{резерв}}{\sum t_{трансп}} \right)^{-1} \rightarrow 1$$

де закладена ідея замінити всі технологічні простой  $t_{прост}$  на розраховані резерви часу  $t_{резерв}$  відносно загального часу транспортування  $t_{трансп}$ ; коефіцієнт організаційної гнучкості  $K_{ог}$  має бути максимально приближеним до 1.

Разом з забезпеченням організаційної гнучкості мають також розглядатись інші види гнучкості, такі як: *технологічна* (кількість типів ТЗ має бути мінімальною), *структурна* (максимальна здатність ТЗ має бути взаємозамінною), *інтерактивна* (швидкість перерахунку ІТ достатньо висока), *еволюційна* (незалежність моделей ІТ від розвитку технологій транспортування) та *машинна* (реалізація нового підходу недорогими засобами з використанням кишенькових ПК) *гнучкості*.

## 2. Схеми руху транспорту. Основні визначення. Класифікація задач

Перед тим як перейти до розгляду методів побудови графіків, пропонується розглянути можливі схеми руху транспортних засобів (рис.2), основні визначення та задачі, які вирішуються.

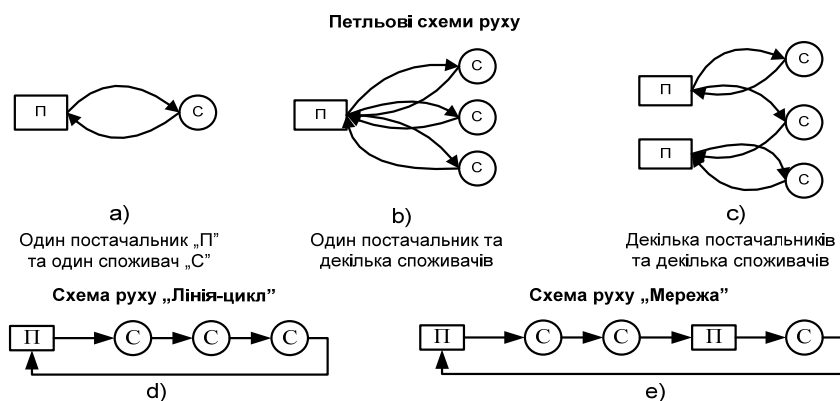


Рис. 2. Приклади схем транспортування

У більшості випадків (80%) використовується петльова схема, яка і була обрана за основу. *Основні визначення.*

**Рейс (r)** – це процес перевезення ресурсів (завантаження “1” – транспортування “2” – розвантаження “3” – повернення “4”). Підпроцеси “1+2+3” та “4” представляються спрощено циклом.

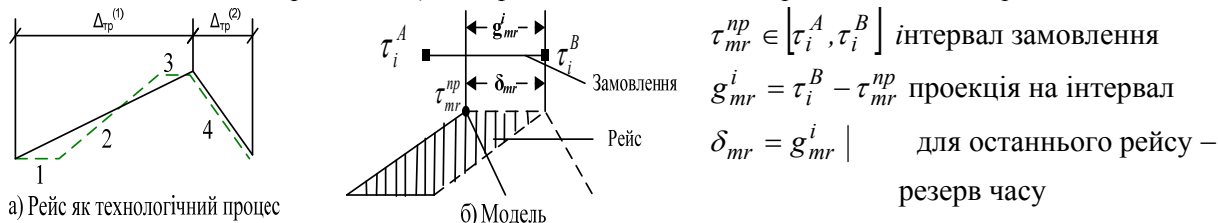


Рис. 3. Загальне зображення рейсу у вигляді частини циклограми

**Послідовність (l)** – це неперервний набір рейсів між одним «П» та одним «С» у вигляді циклограми, згідно технологічних та ергономічних вимог.

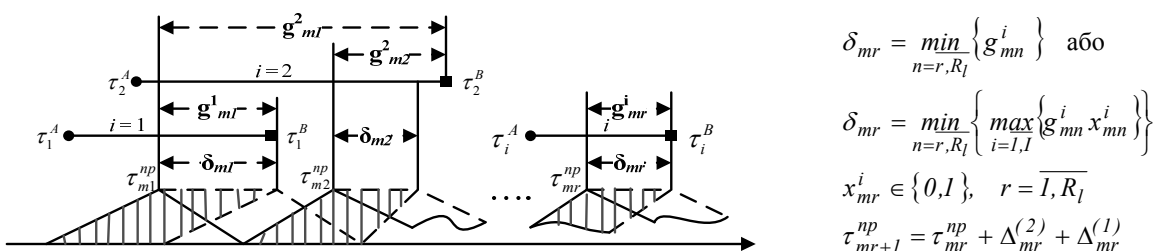


Рис. 4. Загальне зображення послідовності з відображенням резервів часу

Якщо резерв часу останнього рейсу дорівнює проєкції на інтервали  $\delta_{mR} = g^i_{mR}$ , то резерви часу  $\delta_{mr}$  наступних рейсів визначаються, як мінімальне значення комбінацій проєкцій відносно кожного можливого замовлення. Це виходить з логіки розрахунку, враховуючи час транспортування  $\Delta_{mp}^{(1)}$  вантажу та час повернення  $\Delta_{mp}^{(2)}$  до постачальника «П».

Вхідною інформацією для розрахунку ІГТ є інтервал замовлення  $[\tau_i^A, \tau_i^B]$ , де  $\tau_i^A$  визначає початок для розрахунку резерву часу для замовлення;  $\tau_i^B$  позначає початок робіт, пов'язаних з комплектом  $i$ . Початок робіт може задаватися як суб'єктивно, так і на основі розрахунків мережі проєктів [5] для проєктно-орієнтованого виробництва (ПОВ).

На основі варіантів формування вхідної інформації, можливих схем транспортування, способу організації транспортних послідовностей та типу цільової функції оптимізації резервів часу запропоновано ієрархічну схему класифікації задач розрахунку ІГТ (рис. 5).

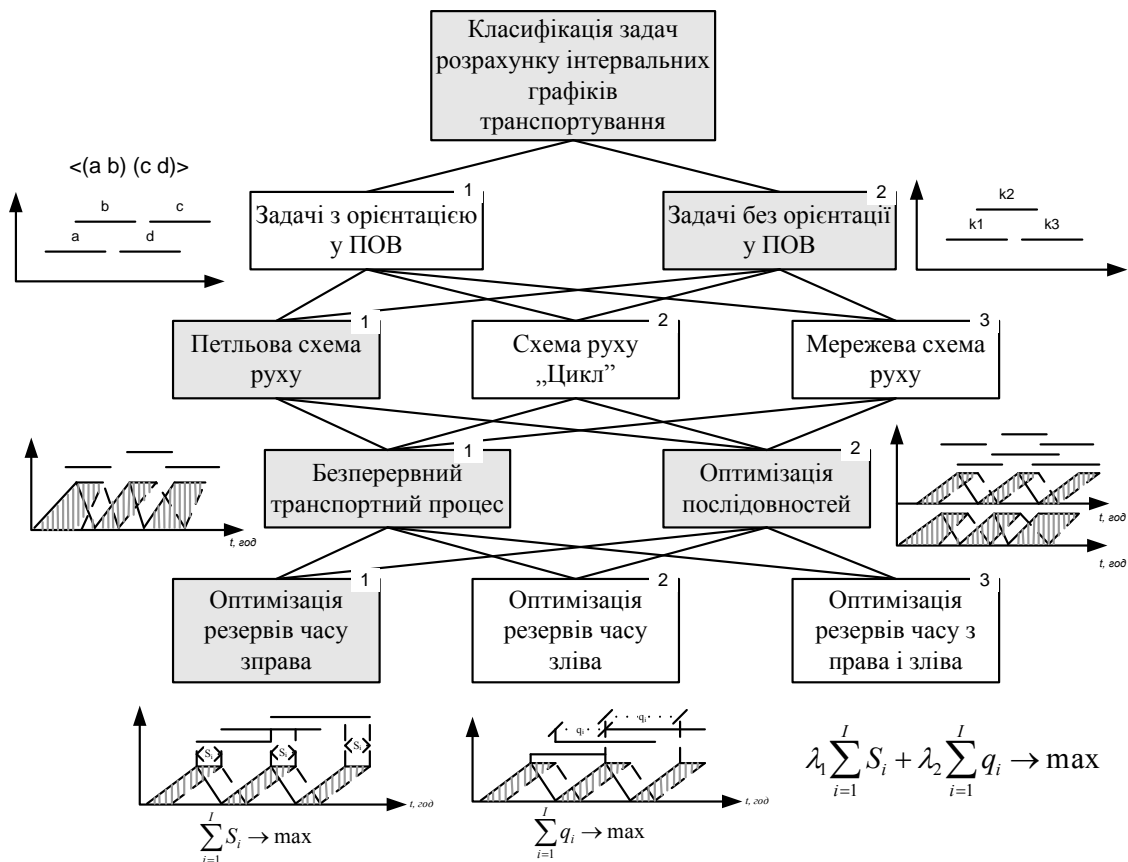


Рис. 5. Комплекс задач моделювання графіків транспортування

Загальна кількість задач може розраховуватись, як добуток варіантів відносно кожного рівня:

$$K_{зад} = 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 3 = 36.$$

Для всіх задач існують декілька цільових функцій, одна з них – це кількість транспортних засобів має бути мінімальною.

$$Z_1 = M \rightarrow \min;$$

де  $M$  - пошукова кількість транспортних засобів.

А також загальні обмеження для всіх задач :

$$M \in [\underline{M}, \overline{M}];$$
 – обмеження наявної кількості ТЗ;

$$\delta_{mr} \geq \delta^{omn}$$
 – резерв часу має бути не менше нормативного (заданого).

Інші цільові функції мають вигляд в залежності від задачі. Далі розглянемо постановку для наступної задачі:

Задача 2.1.2.1. «Оптимізація послідовностей та резервів часу справа».

$$Z_2 = \sum_{m=1}^M L_m \rightarrow \min;$$
 – мінімізація кількості послідовностей для  $m$  – го ТЗ;

де  $L_m$  – кількість безперервних послідовностей для машини  $m$

$$Z_3 = \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^{L_m} \sum_{r=1}^{R_l} \delta_{lr}^m \rightarrow \max;$$
 де  $\delta_{lr}^m$  – резерв часу з врахуванням послідовностей "  $l$  ";

$$Z_1 \succ Z_2 \succ Z_3;$$

$$\delta_{lr}^m = \min \left\{ \max_{j=r, R} \left\{ \left( \tau_i^B - \tau_{mlj}^{np} \right) y_{mlj}^i x_{mlj}^i \right\} \right\} | y_{mlr}^i \in \begin{cases} 1, \text{ якщо } \tau_{mlr}^i \in [\tau_i^A, \tau_i^B]; \\ 0, \text{ інакше;} \end{cases}$$

$$\sum_{i=1}^I x_{mlr}^i = 1; \quad m = \overline{1, M}; \quad l = \overline{1, L_m}; \quad r = \overline{1, R_l};$$

$$x_{mlr}^i \in \begin{cases} 1, \text{ якщо рейс " } r \text{ " для замовлення " } i \text{ ";} \\ 0, \text{ інакше;} \end{cases}$$

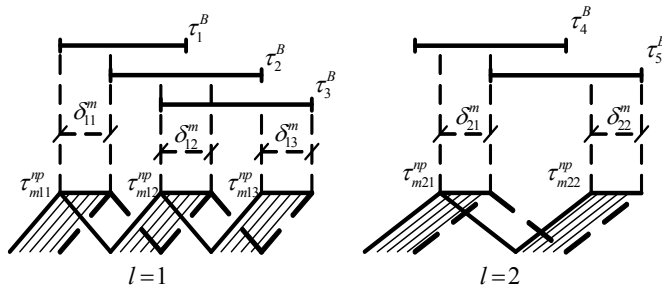


Рис. 6 . Графічне зображення задачі 2.1.2.1.

Графоаналітичне представлення двох послідовностей  $l = \overline{1, 2}$  для однієї машини з метою мінімізації кількості послідовностей та максимізації резервів часу. Дана задача актуальна для виробництва з попередньою комплектацією та необхідністю безперервних поставок на об'єкт (наприклад, робота бетоновозів).

Задача вирішується шляхом розбиття на дві моделі [3]: Модель оптимізації послідовностей та модель призначення послідовностей до транспортних засобів.

Пошуковими змінними для задач є:

$$\text{графік руху } \tau_{mr}^{np} \in [\tau_i^A, \tau_i^B] \quad \text{та} \quad \text{призначені замовлення } x_{mr}^i \in \{0, 1\};$$

$$i = \overline{1, I}, \quad r = \overline{1, R_m}, \quad m = \overline{1, M}.$$

Графік руху транспорту має такий вигляд.

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_m \dots\}$  – множина графіків для кожного  $m = \overline{1, M}$  транспортн ого засобу;  
 $S_m = \{\Omega_{m1}, \Omega_{m2}, \dots, \Omega_{ml} \dots\}$  – множина послідовностей  $\Omega_{ml}$  графіка  $S_m$ ;  $l = \overline{1, L_m}$ ;  
 $\Omega_{ml} = \{e_{m1}^{(l)}, e_{m2}^{(l)}, \dots, e_{mr}^{(l)}\}$  – набір рейсів  $r = \overline{1, R_l}$  послідовності  $l$  автомобіля  $m$ ;  
 $e_{mr}^{(l)} = (P_i, t_{mlr}^{ei\delta np}, t_{mlr}^{np}, i, v_i, C_i)$  – опис рейсу  $(m, r)$  від постачальника  $P_i$  до споживача  $C_i$  при транспортуванні замовлення  $i$  в період замовлення  $v_i = [\tau_i^A, \tau_i^B]$ .  
 $t_{mlr}^{ei\delta np} = [\tau_{mlr}^{ei\delta np}, \tau_{mlr}^{ei\delta np} + \delta_{lr}^m]$ ;  $t_{mlr}^{np} = [\tau_{mlr}^{np}, \tau_{mlr}^{np} + \delta_{lr}^m]$ ; – інтервал відправлення та інтервал прибуття для рейсу  $e_{mr}^{(l)}$ ;

$$t_{mlr}^{np} \in v_i \text{ при умові } x_{mlr}^i = 1 | x_{mlr}^i \in \{0, 1\}; i = \overline{1, I}, r = \overline{1, R_{ml}}, m = \overline{1, M}$$

При наявності організаційних перерв (перезмінка, обід тощо) множина замовлень  $\{v_i\}$  має бути стиснена у часі, а потім повний графік  $S$  має бути скорегований шляхом розтягнення  $t_{mlr}^{ei\delta np}$  та  $t_{mlr}^{np}$  на значення організаційних перерв.

Дані резерви часу  $\delta_{lr}^m$  пізніше мають бути перевірені на достатність за допомогою імітаційної моделі.

### 3. «Числовий приклад вирішення задачі 2.1.2.1»

Для прикладу візьмемо ситуацію, коли присутній один постачальник та два споживачі ресурсів. Також відомо час руху від кожного постачальника до споживача (1 година) та час повернення (1 година).

На вході маємо замовлення (без організаційних перерв), які представлені в таблиці (табл. 2).

Таблиця 2

Замовлення

П – С	Зам.	Інт. зам.
1 – 1	1	8.00 – 10.00
1 – 1	2	9.00 – 11.30
1 – 1	3	10.00 – 13.00
1 – 1	4	11.00 – 13.30
1 – 1	5	13.00 – 16.00
1 – 1	6	14.00 – 17.30
1 – 1	7	15.30 – 17.30
1 – 2	8	8.00 – 10.30
1 – 2	9	8.30 – 11.30
1 – 2	10	10.30 – 13.00
1 – 2	11	11.30 – 14.00
1 – 2	12	12.00 – 16.00
1 – 2	13	14.30 – 19.00
1 – 2	14	14.00 – 18.30

Алгоритм побудований на принципах розгалужень та обмежень. Задача вирішується у три етапи. Групування за ознакою «один постачальник – один споживач», оптимізація послідовностей та призначення послідовностей. Етапи стиснення та розтягнення відсутні.

Замовлення представляються у двох групах (1 – 1 та 1 – 2) та для кожної з них вирішується задача оптимізації послідовностей [3].

При розрахунку матричним методом генерується таблиця, в котрій рядками є замовлення, а стовпчиками є рейси ТЗ у послідовностях. На перетині ставляться можливі значення проєкцій  $g_{lr}^i = \tau_i^B - \tau_{lr}^{np}$  для кожного замовлення в даному рейсі. Після чого вирішується

призначення, вибирається максимальне значення з проєкцій по кожному рейсу і будуються послідовності.

	$\Omega_{11}$	$\Omega_{12}$	$\Omega_{13}$	$\Omega_{14}$	$\Omega_{15}$	$\Omega_{16}$	$\Omega_{21}$	$\Omega_{31}$
1	2.00	0	-	-	-	-	-	-
2	-	1.30	-	-	-	-	2.30	-
3	-	3.00	1.00	-	-	-	-	-
4	-	-	1.30	0	-	-	-	-
5	-	-	-	2.00	0	-	-	3.00
6	-	-	-	3.30	1.30	-	-	-
7	-	-	-	-	1.30	0.30	-	-

	$\Omega_{41}$	$\Omega_{42}$	$\Omega_{43}$	$\Omega_{44}$	$\Omega_{45}$	$\Omega_{46}$	$\Omega_{51}$	$\Omega_{52}$
8	2.30	0.30	-	-	-	-	-	-
9	-	1.30	-	-	-	-	-	-
10	-	-	1.00	-	-	-	2.00	0.30
11	-	-	2.30	0.30	-	-	-	2.00
12	-	-	4.00	2.00	-	-	-	-
13	-	-	-	-	3.00	1.00	-	-
14	-	-	-	4.30	2.30	0.30	-	-

В результаті розрахунків ми отримали 5 послідовностей з розрахованими резервами часу . Графічно їх можна зобразити таким чином (рис.7 а, б).

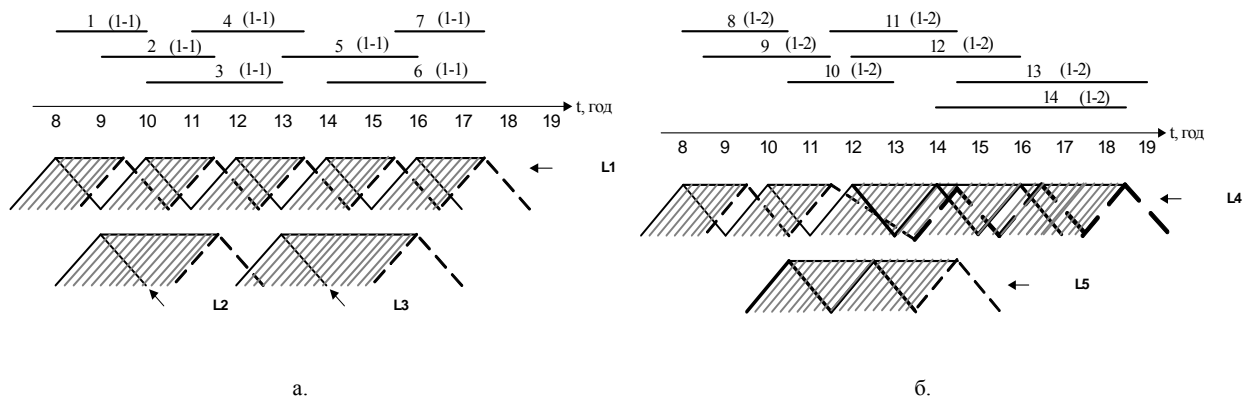


Рис. 7. Графічне зображення послідовностей

Таблиця 3

**Резерви часу у рейсах послідовностей**

	$e_{11}$	$e_{12}$	$e_{13}$	$e_{14}$	$e_{15}$	$\sigma$	$\tau_{11}^{np}$
1	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	7.30	8.00
2	2.30					2.30	9.30
3	3.00					3.00	13.00
4	1.30	1.30	3.00	3.00	3.00	12.00	8.00
5	2.00	2.00				4.00	10.30

Задача розподілення послідовностей  $\{\Omega\}$  за ТЗ з їх мінімізацією та загальною цільовою

функцією  $\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^{L_m} \sigma_{lm} x_{lm} \rightarrow \max$ ; забезпечення максимальних резервів. При оптимізації

можливий перетин першого рейсу послідовностей (при цьому можлива втрата резервів часу).

В результаті вирішення задачі призначення послідовностей було визначено, що для транспортування необхідно використання чотирьох транспортних засобів та отримано наступний графік транспортування з розбиттям за транспортними засобами (табл. 4).

Таблиця 4

## ІГТ за транспортними засобами

ТЗ ( <i>m</i> )	Зам. ( <i>i</i> )	Час відп. $t_{mlr}^{відп}$	Час приб. $t_{mlr}^{пр}$	Час замов. $v^{np}$	Маршрут	Резерв часу $\delta_{lr}^m$
1	1	7.00 – 8.30	8.00 – 9.30	8.00 – 10.00	1 – 1	1.30
	3	9.00 – 10.30	10.00 – 11.30	10.00 – 13.00	1 – 1	1.30
	4	11.00 – 12.30	12.00 – 13.30	11.00 – 13.30	1 – 1	1.30
	6	13.00 – 14.30	14.00 – 15.30	14.00 – 17.30	1 – 1	1.30
	7	15.00 – 16.30	16.00 – 17.30	15.30 – 17.30	1 – 1	1.30
2	2	8.00 – 10.00	9.00 – 11.00	9.00 – 11.30	1 – 1	2.30
	5	12.00 – 15.00	13.00 – 16.00	13.00 – 16.00	1 – 1	3.00
3	8	7.00 – 8.30	8.00 – 9.30	8.00 – 10.30	1 – 2	1.30
	9	9.00 – 10.30	10.00 – 11.30	8.30 – 11.30	1 – 2	1.30
	12	11.00 – 14.00	12.00 – 15.00	12.00 – 16.00	1 – 2	3.00
	14	13.00 – 16.30	14.00 – 17.30	14.00 – 18.30	1 – 2	3.00
	13	15.00 – 18.00	16.00 – 19.00	14.30 – 19.00	1 – 2	3.00
4	10	9.30 – 11.30	10.30 – 12.30	10.30 – 13.00	1 – 2	2.00
	11	11.00 – 13.00	12.00 – 14.00	11.30 – 14.00	1 – 2	2.00

#### 4. Комплексний підхід до планування. Можливі способи формування вхідної інформації

Особливістю даних моделей є те, що на вході маємо детерміновані та нормативні дані, а на виході – результати у вигляді інтервалів, розмір яких залежить від величини часу замовлень. До вхідних даних для задач належить: *постійна нормативна інформація* (опис структури складів, відстані та час (у хвилинали) транспортування, середній час завантаження та розвантаження, календар дат з прив'язкою до організаційних перерв), *статистична інформація* (функції швидкості руху транспорту у часі для кожного маршруту) та *оперативна інформація* (перелік замовлень з інтервалами доставки).

Для задач, не пов'язаних з ПОВ, перелік замовлень задається диспетчерською службою АТП. Для задач, пов'язаних з ПОВ, перелік замовлень розраховується на основі наскрізного планування «від мережевих графіків виконання будівельно-монтажних робіт (БМР) до графіка замовлень на транспортування». Залучення наскрізного планування ПОВ також являється нашою задачею та є наступним розвитком результатів [5]. В роботі для формування вхідних даних використовуються САД-система «AIPPlan» та власна розробка КАРТС.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мороз О. В. Планування автомобільних перевезень вантажів малими партіями: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: 08.06.01 - економіка, організація та управління підприємствами / О. В. Мороз –:К., 2003. – 20с.
2. Бабушкин Г. Ф. Управление процессами заводских перевозок безрельсовым колесным транспортом на основе логистики / Запорожский национальный технический ун-т. — Запорожье : ЗНТУ, 2002. — 318с. – ISBN 966-7809-26-9.



3. Babitsch, V. Optimale Steuerung eines integrierten hierarchischen Versorgungssystems «Vorfertigung, Transport und Montage von Betonelementen im komplexen Wohnungsbau». Dissertation A, Technische Hochschule Leipzig. – Leipzig 1983. – 240 p.

4. Математичні методи дослідження операцій у будівництві: навч. посіб. / В. І. Бабіч – К: КНУБА, 2006. – 108 с.

5. Перевертун І.М. Інформаційні технології комплексного організаційно-технологічного моделювання проектно-орієнтованих виробництв (на прикладі серійного будівництва): дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. Наук / Перевертун Ігор Михайлович – К., 2007 – 160с.

**Бабіч Віталій Іванович** – к. т. н., доцент, кафедра інформаційних технологій, e-mail: vitaly\_babich@ukr.net, тел.: (044)-2415562; (068)-1183028.

**Білик Юрій Анатолійович** – аспірант, кафедра інформаційних технологій, e-mail: biluk\_@mail.ru, тел.: (066)-7585442.

Київський національний університет будівництва та архітектури.