

МАТЕМАТИЧНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ГРАФІКІВ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВАНТАЖОПОТОКІВ У БУДІВЕЛЬНІЙ ГАЛУЗІ

Abstract: The article is devoted to the problems of the motor transport processes planning using a building industry as an example. The new approach to the transport-accumulated processes planning is considered, classification of tasks, models and methods of optimization with a numeral example are offered. The model of the interval transportation graphs, which contains maximal time reserves with the purpose of providing organizational flexibility and external interruptions insensitivity is assumed as a basis.

Key words: motor transportation graphs, methods of optimization, time reserves.

Анотація: Стаття присвячена рішення проблем планування автотранспортних процесів на прикладі будівельної галузі. Розглянуто новий підхід до планування транспортно-накопичувальних процесів, 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: графіки транспортування вантажопотоків, методи оптимізації, резерви часу.

Аннотация: Статья посвящена решению проблем планирования автотранспортных процессов на примере строительной отрасли. Рассмотрен новый подход к планированию транспортно-накопительных процессов, предложены классификация задач, модели и методы оптимизации с численным примером. В основу нового подхода положена модель интервальных графиков транспортировки, которые вмещают максимальные резервы времени с целью обеспечения организационной гибкости и нечувствительности к внешним возмущениям.

Ключевые слова: графики транспортировки грузопотоков, методы оптимизации, резервы времени.

1. Вступ

У 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, що ускладнюють їх практичне використання. Більшість підходів зорієнтовані на «детермінований» час при плануванні 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. Також можна відмітити відсутність комплексного підходу, тобто неврахування виробничих потужностей постачальника та складських можливостей споживача, що призводить до неможливості наскрізного планування транспортних процесів.

Програмні розробки у сфері управління транспортом, які сьогодні пропонуються на ринку, практично зводяться до задач логістики і не враховують оперативного-календарного планування на тривалий термін (тиждень, декада, місяць) з точністю до хвилин.

Розглянувши недоліки існуючих підходів та програмних розробок, авторами пропонується новий підхід до управління вантажопотоками на основі наскрізних інтервальних графіків транспортування.

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

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

також розробка імітаційної моделі для перевірки їх адекватності в умовах непостійної швидкості руху та часу завантаження-розвантаження 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 максимально можливий 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 ін., без зриву графіка транспортування. Водій орієнтується на розраховані інтервали відправлення та прибуття. У випадку, 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 графіка. Такий підхід у задачах управління дозволяє перейти від моделей логістики, які на практиці інформаційних технологій не використовуються, до задач оперативно-календарного планування з періодом 3-10 днів.

Резерви часу до сьогодні були притаманні лише сітьовим графікам виробництва для робіт, які не лежать на критичному шляху. На відміну від сітьових графіків ІГТ вміщують резерви часу навіть для комплектів у роботах, які знаходяться на критичному шляху. Розміри резервів часу оптимізуються за критерієм "максимум" та в основному залежать від інтервалів замовлень на транспортування та площі приоб'єктних складів споживача.

Для початку представимо результат, якого бажано досягти при даному підході. Приклад розрахованого інтервального графіка транспортування з розбиттям по транспортних засобах, представлений нижче (табл. 1).

Таблиця 1. Розклад руху автотранспорту

Інтервали відправлення (дата/час)		Інтервали прибуття (дата/час)		№ замовлення	№ об'єкта	Максимальні інтервали прибуття (замовлення) (дата/час)	
З	До	З	До			З	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

Інтервальні графіки в табл. 1 вміщують такі дані:

- інтервали відправлення – інтервали, в які транспортний засіб (ТЗ) має завантажитись та відправитись 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.

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

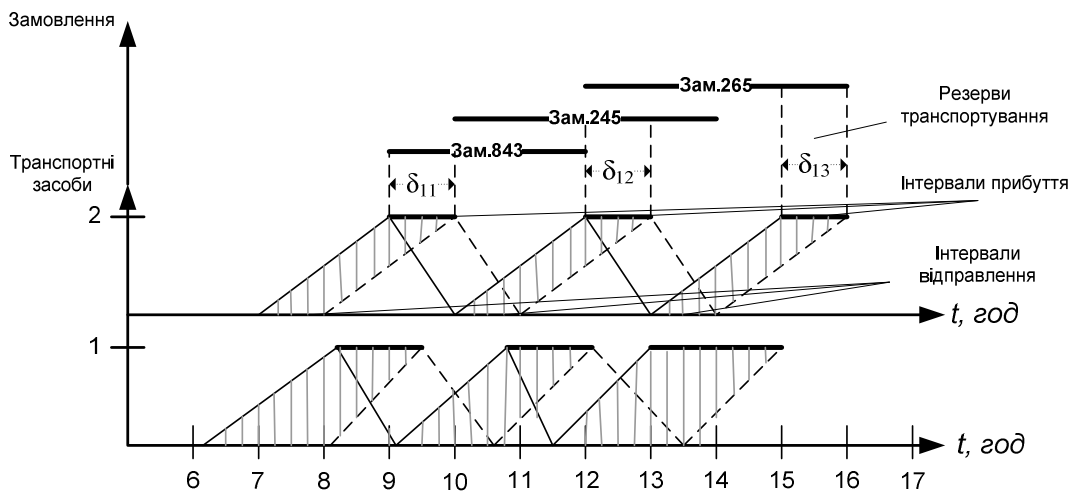


Рис. 1. Графік руху автотранспорту

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 таких переваг:

- вилучення збурень водієм самостійно або разом з іншими транспортними засобами чи диспетчером (без перерахунків у системі управління), тим самим збільшення періоду управління;
- надання можливості водієві самостійно обирати час для організаційної перерви (обід, перезміна тощо);
- резерви часу у системі максимізовані без урахування організаційних перерв (ОП), які вставляються у графік після розрахунку резервів часу;
- система управління на основі ІГТ являється адаптивною системою планування транспортних процесів з великим періодом управління;
- система має високу організаційну гнучкість [4], яка може розраховуватись по формулі

$$K_{oe} = \left(1 + \frac{\sum t_{прост} - \sum t_{резерв}}{\sum t_{трансп}} \right)^{-1} \rightarrow 1, \text{ де закладена ідея замінити всі технологічні прості } t_{прост} \text{ на}$$

розраховані резерви часу $t_{резерв}$ відносно загального часу транспортування $t_{трансп}$; коефіцієнт організаційної гнучкості K_{oe} має бути максимально приближеним до 1.

Разом із забезпеченням організаційної гнучкості також мають розглядатись інші види гнучкості, такі, як технологічна (кількість типів ТЗ повинна бути мінімальною), структурна

(максимальна здібність ТЗ бути взаємозамінним), інтерактивна (швидкість перерахунку ІГТ достатньо висока), еволюційна (незалежність моделей ІГТ від розвитку технологій транспортування) та машинна (реалізація нового підходу недорогими засобами з використанням кишенькових ПК).

3. 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.

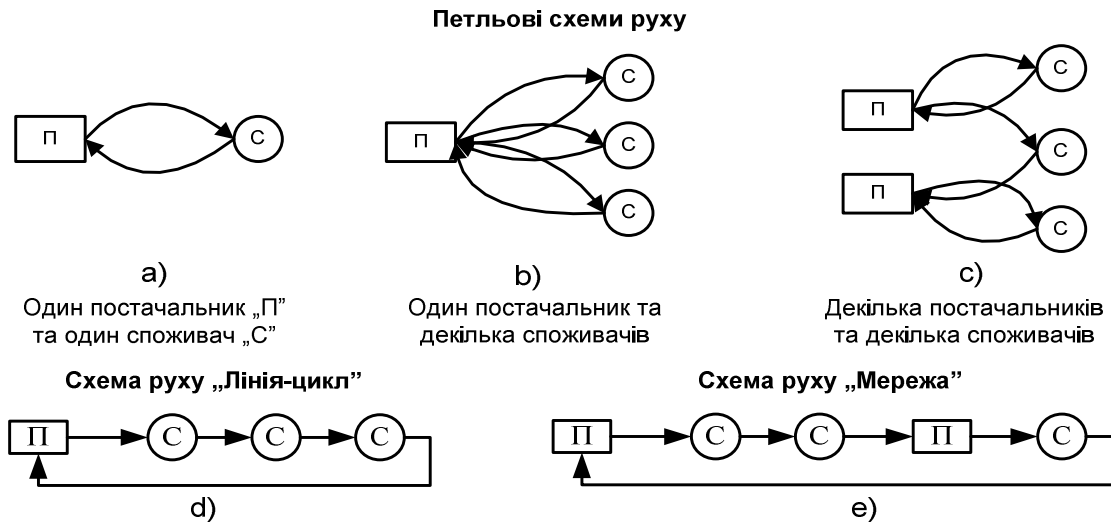


Рис. 2. Приклади схем транспортування

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. Графічне та математичне представлення зображено нижче (рис. 3).

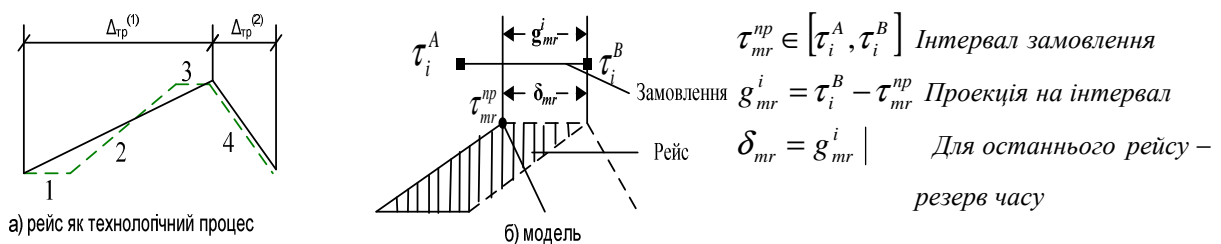
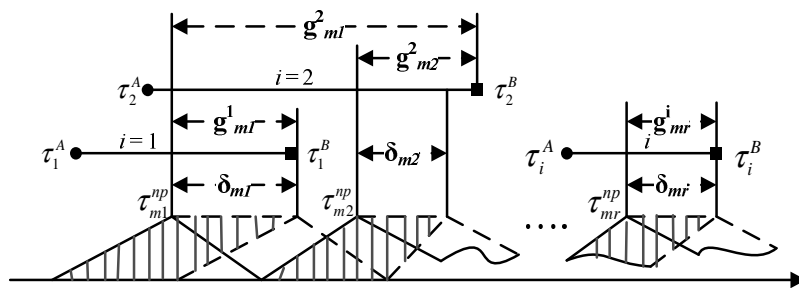


Рис. 3. Загальне зображення рейсу у вигляді частини циклограми

Послідовність (l) – це неперервний набір рейсів між одним «П» та одним «С» у вигляді циклограми згідно з технологічними та ергономічними вимогами. Графічно послідовність можна зобразити таким чином (рис. 4).



$$\delta_{mr} = \min_{n=r, R_l} \{g_{mn}^i\} \text{ або}$$

$$\delta_{mr} = \min_{n=r, R_l} \left\{ \max_{i=1, I} \{g_{mn}^i x_{mn}^i\} \right\}$$

$$x_{mr}^i \in \{0,1\}, \quad r = \overline{1, R_l}$$

$$\tau_{mr+1}^{np} = \tau_{mr}^{np} + \Delta_{mr}^{(2)} + \Delta_{mr}^{(1)}$$

Рис. 4. Загальне зображення послідовності з відображенням резервів часу

Якщо резерв часу останнього рейсу дорівнює проекції на інтервали $\delta_{mR} = g_{mR}^i$, то резерви часу δ_{mr} наступних рейсів визначаються як мінімальне значення комбінацій проекцій 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 являється інтервал замовлення $[\tau_i^A, \tau_i^B]$, де τ_i^A визначає початок для розрахунку резерву часу для замовлення; τ_i^B позначає початок робіт, пов'язаних з комплектом i . Початок робіт може задаватися як суб'єктивно, так і на основі розрахунків мережі проектів [5] для проектно-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).

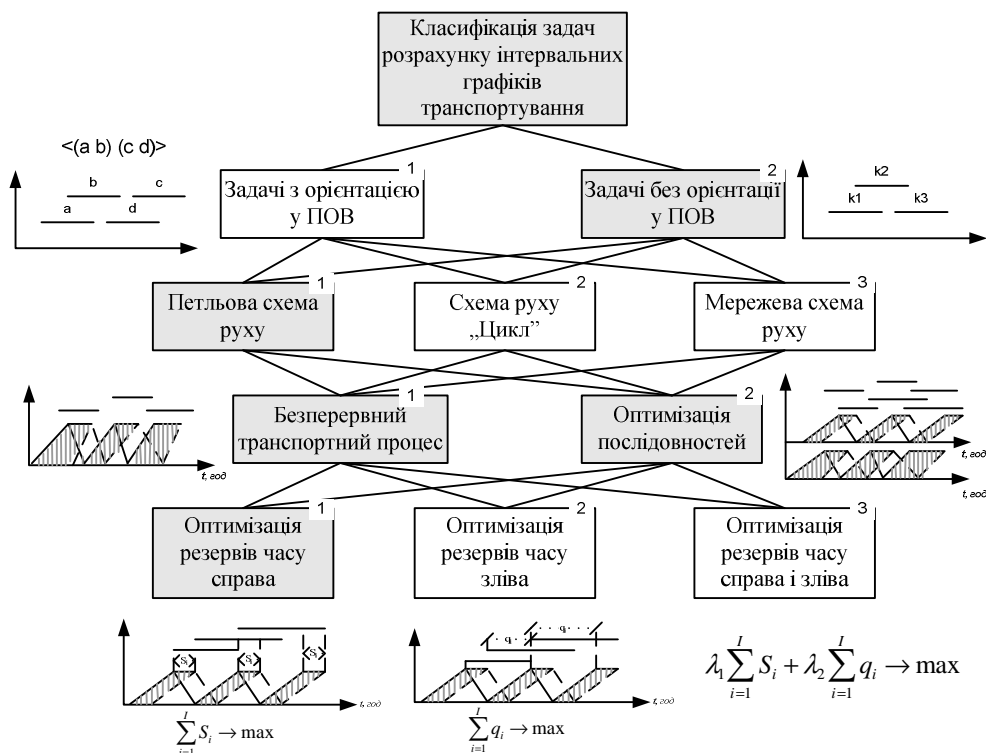


Рис. 5. Комплекс задач моделювання графіків транспортування

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 наявності кількості ТЗ;

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

Інші цільові функції мають вигляд у залежності від задачі. Далі розглянемо постановку для таких задач:

Задача 2.1.1.1. Безперервний транспортний процес (ТП). Оптимізація резервів часу справа.

$Z_2 = \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^{R_m} \delta_{mr} \rightarrow \max$ – максимізація резервів часу,

де δ_{mr} – резерв часу для m -го транспортного засобу у r -му рейсі.

$$Z_1 \succ Z_2; \quad \delta_{mr} = \min_{n=r, R_m} \left\{ \max_{i=1, I} \{ (\tau_i^B - \tau_{mn}^{np}) x_{mr}^i \} \right\},$$

де τ_i^B – кінцевий термін виконання i -го замовлення;

τ_{mn}^{np} – час прибуття m -го транспортного засобу у n -му рейсі;

$$\sum_{i=1}^I x_{mr}^i = 1; \quad m = \overline{1, M}; \quad r = \overline{1, R_m}; \quad x_{mr}^i \in \{0, 1\}.$$

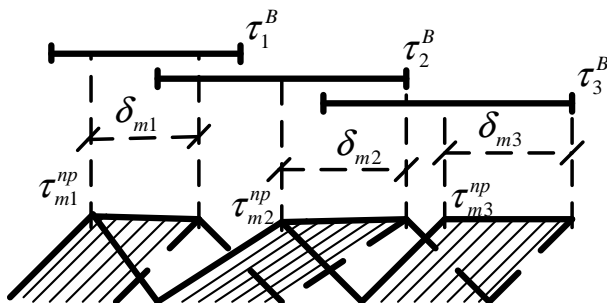


Рис. 6. Графічне зображення задачі 2.1.1.1

Графоаналітичне представлення розкладу руху транспортного засобу "m" з метою розрахунку резервів часу δ_{mr} та фіксації замовлень i на рейс (m, r) . Резерв часу δ_{mr} залежить від інтервалів замовлень $[\tau_i^A, \tau_i^B]$ та від наступних

$\delta_{mr+1}, \delta_{mr+2}$.

Числовий приклад вирішення даної задачі буде наведено нижче.

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 δ_{lr}^m – резерв часу з урахуванням послідовностей "l";

$$Z_1 \succ Z_2 \succ Z_3; \quad \delta_{lr}^m = \min \left\{ \max_{i=1, I} \{ (\tau_i^B - \tau_{mlr}^{np}) x_{mlr}^i \} \right\};$$

$$\sum_{i=1}^l x_{mlr}^i = 1, \quad m = \overline{1, M}, \quad l = \overline{1, L_m}, \quad r = \overline{1, R_l}, \quad x_{mlr}^i \in \{0, 1\}.$$

Графоаналітичне представлення двох послідовностей $l = \overline{1, 2}$ для однієї машини з метою мінімізації кількості послідовностей та максимізації резервів часу.

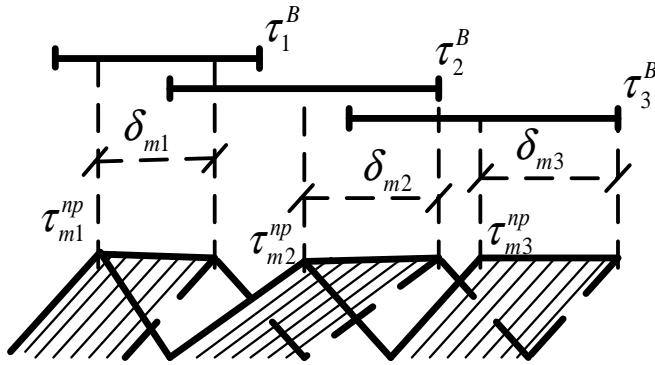


Рис. 7. Графічне зображення задачі 2.1.2.1

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

Задача 2.1.1.2. Безперервний ТП. Оптимізація резервів часу зліва.

$$Z_2 = \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^{R_m} q_{mr} \rightarrow \min, \quad \text{де } q_{mr}$$

– залишок від резерву часу (рис. 8);

$$q_{mr} = \sum_{i=1}^l (\tau_{mr}^{np} - \tau_i^A) x_{mr}^i, \quad \text{де } \tau_{mr}^{np} \text{ – початковий термін прибуття транспорту } m \text{ в рейс } r;$$

$$\sum_{i=1}^l x_{mr}^i = 1, \quad m = \overline{1, M}, \quad r = \overline{1, R_m}, \quad x_{mr}^i \in \{0, 1\}.$$

Розрахунок δ_{mr} в оптимізації на приймає участі, так як мінімізація зліва приблизно може забезпечувати оптимізацію справа. Кінцевий розрахунок резервів часу для кожного рейсу δ_{mr} буде виконаний по формулі задачі 2.1.1.1.

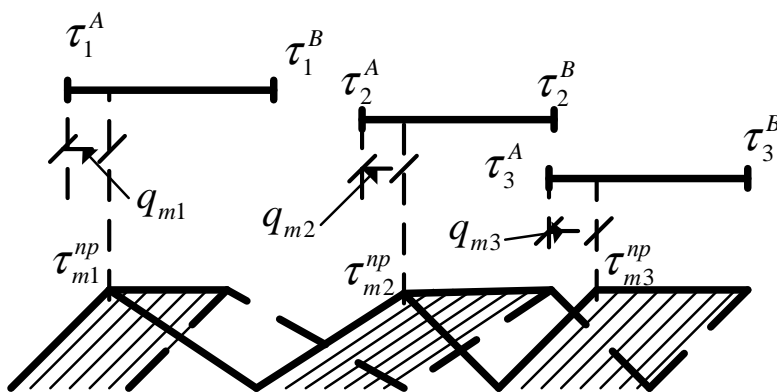


Рис. 8. Графічне зображення задачі 2.1.1.2

Графоаналітичне представлення розкладу руху τ_{mr}^{np} транспортного засобу m з метою розрахунку залишків від резервів часу q_{mr} та фіксації замовлень до рейсів x_{mr}^i .

Задача вирішується так, як і задача 2.1.1.1, за допомогою методу розга-

лужень і обмежень.

Задача 2.1.2.2. Оптимізація послідовностей та резервів часу зліва

$$Z_2 = \sum_{m=1}^M L_m \rightarrow \min, \quad Z_3 = \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^{L_m} \sum_{r=1}^{R_l} q_{lr}^m \rightarrow \min, \quad Z_1 \succ Z_2 \succ Z_3,$$

$$q_{lr}^m = \sum_{i=1}^I (\tau_{mlr}^{np} - \tau_i^A) x_{mlr}^i, \quad \sum_{i=1}^I x_{mlr}^i = 1, \quad \forall m, l, r.$$

Розрахунок резервів часу δ_{lr}^m відбувається по формулі задачі 2.1.2.1 після оптимізації резервів часу зліва.

Задачі 2.1.1.3 та 2.1.2.3 вирішуються шляхом лінійної згортки цільових функцій Z_2 в одну цільову функцію.

$$Z_2 = \sum_{m=1}^M \sum_{r=1}^{R_m} (\lambda_1 \delta_{mr} - \lambda_2 q_{mr}) \rightarrow \max,$$

де δ_{mr} – резерви часу по формі задачі 2.1.1.1;

q_{mr} – залишок резервів часу по формі задачі 2.1.1.2;

λ_1, λ_2 – коефіцієнти лінійної згортки, що можуть визначатися експертним шляхом.

Пошуковими змінними для задач є графік руху $\tau_{mr}^{np} \in [\tau_i^A, \tau_i^B]$ та призначені замовлення $x_{mr}^i \in \{0,1\}$, $i = \overline{1, I}$, $r = \overline{1, R_m}$, $m = \overline{1, M}$.

Графік руху транспорту має такий вигляд:

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ – множина графіків для кожного $m = \overline{1, M}$ транспортного засобу;

$S_m = \{e_{m1}, e_{m2}, \dots, e_{mR_m}\}$ – набір рейсів $r = \overline{1, R_m}$ графіка S_m ;

$e_{mr} = (P_{mr}, t_{mr}^{ei\delta np}, t_{mr}^{np}, i, v_i, C_{mr})$ – опис рейсу (m, r) від постачальника P_{mr} до споживача C_{mr} при транспортуванні замовлення i в період замовлення $v_i = [\tau_i^A, \tau_i^B]$;

$t_{mr}^{ei\delta np} = [\tau_{mr}^{ei\delta np}, \tau_{mr}^{ei\delta np} + \delta_{mr}]$, $t_{mr}^{np} = [\tau_{mr}^{np}, \tau_{mr}^{np} + \delta_{mr}]$ – інтервал відправлення та інтервал прибуття для рейсу e_{mr} ;

$t_{mr}^{np} \in v_i$ при умові $x_{mr}^i = 1 \mid x_{mr}^i \in \{0,1\}$, $i = \overline{1, I}$, $r = \overline{1, R_m}$, $m = \overline{1, M}$.

Повний розклад руху транспорту при наявності організаційних перерв (перезміна, обід тощо) має бути скоригований шляхом стиснення перед, а потім розтягнення $t_{mr}^{ei\delta np}$ та t_{mr}^{np} після розрахунку графіка S на значення організаційної перерви.

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

$$K_{зад} = 2 * 3 * 2 * 3 = 36.$$

Сьогодні ми розглядаємо дві задачі, виділені на рис. 5. Всі інші задачі можуть бути легко згенеровані на основі схеми (рис. 5) та вирішуватись на основі принципів розгалужень, обмежень і динамічного програмування.

4. Числовий приклад вирішення задачі 2.1.1.1

Для прикладу візьмемо ситуацію, коли присутні два постачальники і три споживачі ресурсів. Схему руху між постачальниками та споживачами зображено нижче (рис. 9). Також відомо час руху від кожного постачальника до споживача та час повернення (табл. 2).

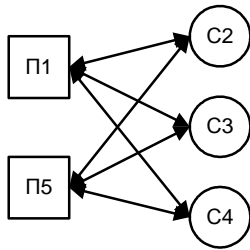


Рис. 9. Схема руху між «П» та «С»

Таблиця 2. Матриця часу руху між «П» та «С»

-	3	3	4	-
2	-	-	-	3
3	-	-	-	4
3	-	-	-	2
-	4	5	3	-

На вході ми маємо замовлення. Їх можна представити як за допомогою таблиці (табл. 3), так і графічно (рис. 10). Також відомі організаційні перерви: перезміна (з 7 до 8 години) та обідня перерва (з 13 до 14 години).

Графік замовлень вміщує інтервал виконання замовлення та маршрут, тобто, від якого постачальника і до якого споживача необхідно доставити ресурси.

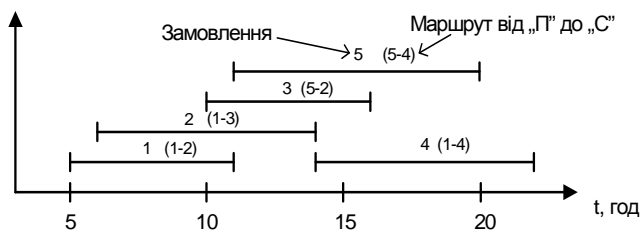


Рис. 10. Графік замовлень

Таблиця 3. Замовлення на транспортування

Замовлення	Маршрут	Час приб.
1	П1-С2	5 – 11
2	П1-С3	6 – 14
3	П5-С2	10 – 16
4	П1-С4	14 – 22
5	П5-С4	11 – 20

Перед розрахунком необхідно виконати стиснення часу замовлень, так як присутні організаційні перерви, які необхідно враховувати. Після стиску кожної точки через значення організаційних перерв графік замовлень на постачання прийме такий вигляд (табл. 4).

Таблиця 4. Графік замовлень з урахуванням організаційних перерв

Замовлення	Маршрут	Час прибуття	Час приб. з орг. пер.
1	П1-С2	5 – 11	5 – 10
2	П1-С3	6 – 14	6 – 12
3	П5-С2	10 – 16	9 – 14
4	П1-С4	14 – 22	12 – 20
5	П5-С4	11 – 20	10 – 18

На основі вхідних даних відбувається розрахунок. Після побудови графіків транспортування на виході ми отримаємо результуючу таблицю, зображену нижче (табл. 5).

Таблиця 5. ІГТ по транспортних засобах

ТЗ (m)	Зам. (i)	Час відп., $t_{mr}^{відп}$	Час приб., $t_{mr}^{пр}$	Час замов., $v^{пр}$	Маршрут	Проекція, g_{mr}^i	Резерв часу, δ_{mr}
1	1	[2, 4]	[5, 7]	[5, 10]	1 – 2	5	2
	2	[7, 9]	[10, 12]	[6, 12]	1 – 3	2	2
	4	[13, 16]	[17, 20]	[12, 20]	1 – 4	3	3
2	3	[5, 8]	[9, 12]	[9, 14]	5 – 2	5	3
	5	[12, 15]	[15, 18]	[10, 18]	5 – 4	3	3

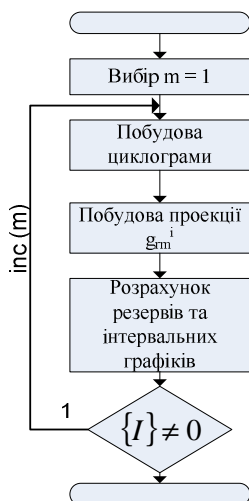


Рис. 11. Алгоритм розрахунку

Таблиця побудована по алгоритму (рис. 11). Для даного прикладу робота алгоритму була такою. Спочатку прийняли $m = 1$. Потім задалися циклограмою $\tau^{np} = \{5, 10, 17\}$ в колонці t^{np} . Після чого порахували значення проєкцій g_{mr}^i (5, 2, 3) у відповідній колонці. Потім уточнили δ_{mr} по формулі задачі 2.1.1.1 і отримали значення (2, 2, 3). Після чого порахували інтервали прибуття t^{np} , як $t^{np} = \tau^{np} + \delta_{mr}^i$. Оскільки після першого розрахунку залишилися замовлення $\{3, 5\}$, то збільшуємо кількість m та повторюємо аналогічні дії для $m = 2$.

Даний алгоритм не забезпечує оптимальність резервів часу, так як зорієнтований на основну цільову

функцію для всіх задач – мінімізацію залучених транспортних засобів.

Після розрахунку даного ІГТ необхідно виконати його «розтягнення», так як урахуються організаційні перерви і було виконано стиснення. У результаті отримаємо кінцевий ІГТ, який має такий вигляд.

Таблиця 6. ІГТ по транспортних засобах

ТЗ (m)	Зам. (i)	Час відп., t_{mr}^{eido}	Час приб., t_{mr}^{np}	Час замов., v^{np}	Маршрут	Проєкція, g_{mr}^i	Резерв часу, δ_{mr}
1	1	[2, 4]	[5, 8]	[5, 11]	1 – 2	5	2
	2	[8, 10]	[11, 13]	[6, 14]	1 – 3	2	2
	4	[15, 18]	[19, 22]	[14, 22]	1 – 4	3	3
2	3	[5, 9]	[10, 13]	[10, 16]	5 – 2	5	3
	5	[14, 17]	[17, 20]	[11, 20]	5 – 4	3	3

Графічно-розрахований графік транспортування має такий вигляд (рис. 12).

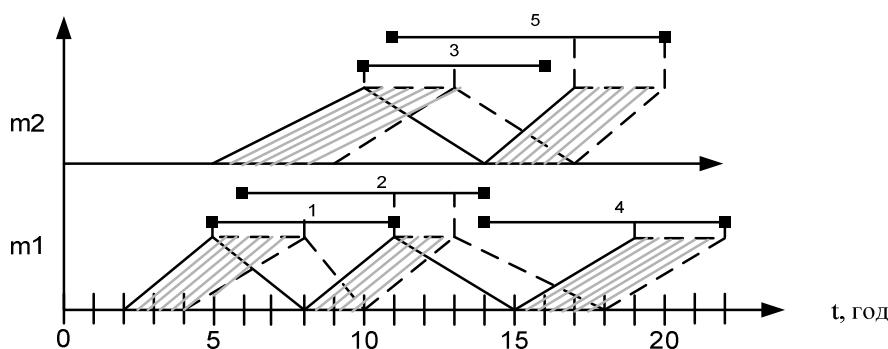


Рис. 12. Результат розрахунку ІГТ

5. Концепція перевірки адекватності побудованих графіків транспортування

Правильність вибраної концепції на основі ІГТ має бути перевірено за допомогою наступної схеми імітаційного моделювання (рис. 13), де на вході готові ІГТ та графіки інтенсивності руху у вигляді функції зміни швидкості.

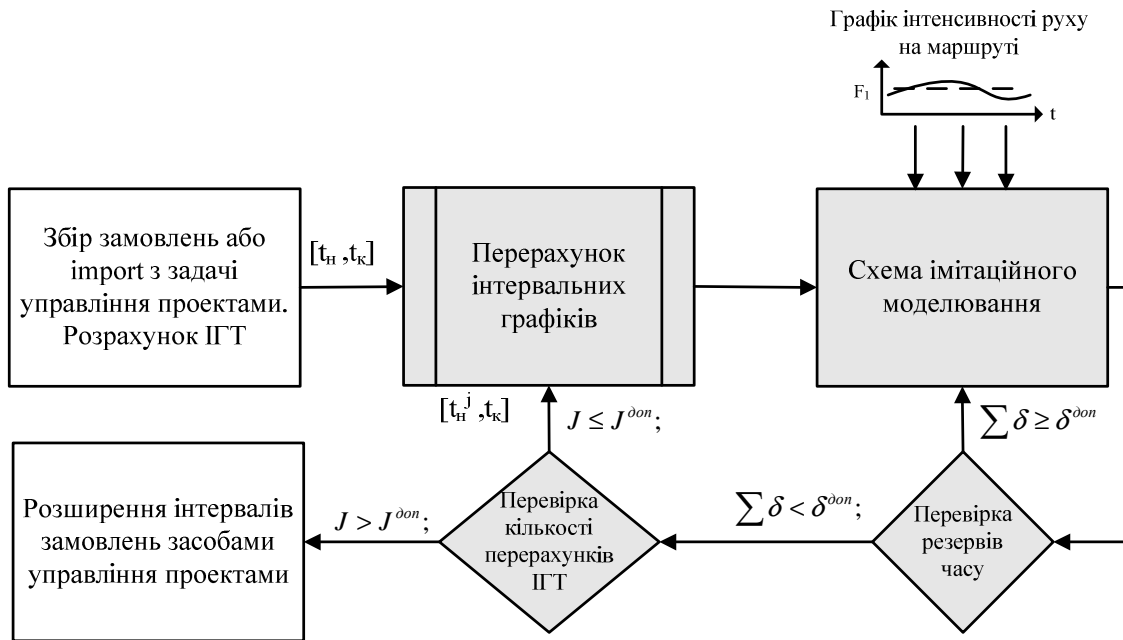


Рис. 13. Загальна структура імітаційного моделювання

У схемі імітаційного моделювання виконуються багатоетапний запуск та заміна фактичної швидкості руху згідно з графіком (рис. 14). На кожному етапі моделювання виконується перевірка резервів часу. У випадку, коли резервів часу достатньо $\sum \delta \geq \delta^{\text{дон}}$, то відбувається запуск наступного етапу, якщо при зміні швидкості резервів часу не достатньо $\sum \delta < \delta^{\text{дон}}$, то виконується перерахунок ІГТ з новими параметрами швидкостей. При цьому також відслідковується кількість перерахунків ІГТ.

У результаті імітаційного моделювання необхідно досягти, щоб кількість перерахунків графіків транспортування J не перевищувала допустимої кількості $J^{\text{дон}}$ при збереженні допустимих значень резервів часу $\delta^{\text{дон}}$. У разі, коли цього неможливо досягти, існують два варіанти. Перший – це повернення, на жаль, до задачі логістики, тобто проводити розрахунок лише на один рейс. Другий – задача розширення інтервалів замовлень з можливим застосуванням засобів управління проектами.

Вибірка та кількість запусків на практиці визначається в залежності від фактичних ділянок дослідження.

Визначення часу руху $\Delta_{\text{тр}}^{(1)}$ та $\Delta_{\text{тр}}^{(2)}$ залежить від значення швидкості V^{cep} . Значення V^{cep} для маршруту ми можемо отримати з визначених значень швидкостей на ділянках дороги

$$V^{\text{cep}} = \min\{v_1^{\text{cep}}, v_2^{\text{cep}}, \dots, v_j^{\text{cep}}\},$$

де v_j^{cep} – швидкості руху на j -тих ділянках маршруту.

Значення середньої швидкості руху ТЗ на j -й ділянці маршруту v_j^{cep} розраховується за такою формулою:

$$v_j^{cep} = \frac{\sum_{t=1}^T v_t \Delta t}{\sum_{t=1}^T \Delta t},$$

де v_t – швидкість руху на ділянці маршруту в момент часу t .

Для прикладу графік отриманих швидкостей за проміжки часу v_t та розраховане значення середньої v_j^{cep} для j -ї ділянки можна відобразити таким чином (рис. 14):

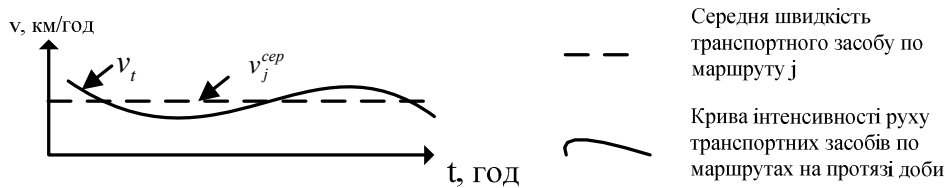


Рис. 14. Графік швидкості ТЗ по маршруту

Для отримання значень v_t на ділянках дороги існує декілька варіантів:

- а) суб'єктивний (досвід водіїв, хронометраж);
- б) технічний – через встановлення індуктивних датчиків у дорожнє покриття для визначення швидкості транспортних засобів на типових ділянках траси (досвід ФРН управління дистанційно-регульованими дорожніми знаками обмеження швидкості);
- в) технічний – через встановлення датчиків заміру кількості або потоку автомобілів на основних ділянках маршруту.

Для початку як дослідження концепції та моделей планується використання лише варіанта «а», а потім, за результатами роботи та фінансовими спроможностями, слід переходити до варіантів «б» та «в».

6. Вхідна інформація. Можливі способи формування вхідної інформації

Особливістю даних моделей являється 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 хвиликах) 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 наступним розвитком результатів [5]. У роботі для формування вхідних даних використовуються САД-система «AllPlan» та власна розробка КАРТС.

7. Висновки

В даній статті було запропоновано та розглянуто новий підхід до управління транспортно-накопичувальними процесами на основі наскрізних інтервальних графіків транспортування. Проведено аналіз можливих схем транспортування, варіантів формування вхідної інформації та можливі цільові функції, на основі чого було розроблено загальну класифікацію задач.

Запропоновано математичні моделі вирішення деяких задач з числовими прикладами розрахунків.

Представлено концепцію перевірки адекватності розрахованих графіків транспортування за допомогою імітаційного моделювання з використанням функції швидкостей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мороз О.В. Планування автомобільних перевезень вантажів малими партіями»: Автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.06.01 / Національний транспортний ун-т. – К., 2003. – 19 с.
2. Бабушкин Г.Ф. Управление процессами заводских перевозок безрельсовым колесным транспортом на основе логистики. – Запорожье: ЗНТУ, 2002. – 318 с.
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. Бабіч В.І. Математичні методи дослідження операцій у будівництві: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2006. – 108 с.
5. Перевертун І.М. Інформаційні технології комплексного організаційно-технологічного моделювання проектно-орієнтованих виробництв (на прикладі серійного будівництва): Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – К.: НТУ-КПІ, 2007. – 160 с.

Стаття надійшла до редакції 12.08.2008