

В. И. Бабич, к. т. н., доц.; Ю. А. Билык

КОМПЛЕКСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ АВТОТРАНСПОРТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕРВАЛЬНЫХ ГРАФИКОВ

Статья посвящена решению проблем планирования автотранспортных процессов на примере строительной отрасли. Рассмотрен новый подход к планированию транспортно – накопительных процессов (ТНП), предложена 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: автотранспортно-накопительный процесс, интервальный график, резерв времени, рейс, последовательность, схема движения.

1. Анализ проблем планирования транспортно-накопительных процессов

Актуальность и цель разработки

В наше время проблема планирования транспортирования грузопотоков в разных областях народного хозяйства (торговля, легкая промышленность, строительство и др.) играет важную роль. Современные подходы, которые предлагаются разными авторами [1, 2], имеют некоторые недостатки, усложняющие их практическое использование. Соответственно можно выделить следующие вопросы *актуальности* данной темы:

– детерминированность существующих подходов к планированию транспортных процессов, который делает их чувствительными, при условиях частых возмущений, и как следствие невозможность их практического использования или управления лишь в условиях логистики, то есть планирования на один рейс;

– отсутствие на сегодня комплексного подхода, то есть неучет производственных мощностей поставщика и складских возможностей потребителя, который приводит к невозможности сквозного планирования транспортных процессов.

Главной целью исследования есть разработка нового подхода относительно управления транспортно-накопительными процессами в производстве на основе интервальных графиков движения транспорта.

Целью данной статьи есть рассмотрение нового подхода в общих чертах, классификация задач и методов их решения, детальный обзор некоторых моделей с численными примерами.

Для планирования транспортных процессов будет использоваться подход [3] на основе сквозных интервальных графиков транспортирования (ИГТ).

ИГТ называется график движения для каждой единицы транспорта, в котором задается заказ доставки (номер, маршрут и максимально-возможный или желательный интервал доставки), а также рассчитанные интервалы (резервы времени) отправления от составов и интервалы прибытия на объекты. Интервалы вмещают резервы времени для обеспечения надежности транспортирования, а также организационные перерывы (обед, пересменка, выходной день, и т.п.).

Данный подход обеспечивает организационную гибкость, то есть предоставление возможности водителю самостоятельно решать такие проблемы, как заторы на дороге, незначительные поломки и прочие без срыва графика транспортирования. Водитель ориентируется на рассчитанные интервалы отправления и прибытия. Если водитель не вкладывается в резервы времени, то он уменьшает организационный перерыв, ориентируется на интервал заказа, сообщает по мобильному телефону диспетчеру относительно следующего своего рейса с возможным перерасчетом интервального

графика. Такой подход в задачах управления разрешает перейти от моделей логистики, которые на практике информационных технологий не используются, к задачам оперативно-календарного планирования с периодом 3-10 дней.

Для начала представим результат, которого желательно достичь при данном подходе. Пример рассчитанного интервального графика транспортирования с разбивкой по транспортным средствам представлен ниже (табл. 1). Интервальные графики в таблице содержат следующие данные:

- интервалы отправления – интервалы, в которые транспортное средство (ТС) может загрузиться и отправиться от поставщика;
- интервалы прибытия – интервалы, в которые ТС как можно скорее необходимо прибыть к потребителю и разгрузиться, при этом организационные перерывы учитываются;
- № заказ и объекту – входная информация типа “что и куда” необходимо доставить;
- максимальные интервалы прибытия (заказ) – входная информация от диспетчера, на которую необходимо ориентироваться в случае нарушений рассчитанных интервалов прибытия.

Таблица 1

Расписание движения автотранспорта

Интервалы отправления (дата/время)		Интервалы прибытия (дата/время)		№ заказ	№ объекта	Максимальные интервалы (заказ)прибытия (дата/время)	
С	КР	С	КР			С	КР
1	2	3	4	5	6	7	8
Транспортное средство 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
Транспортное средство 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 большего понимания дальше предлагается графическое изображение рассчитанного графика движения транспортных средств (рис.1).

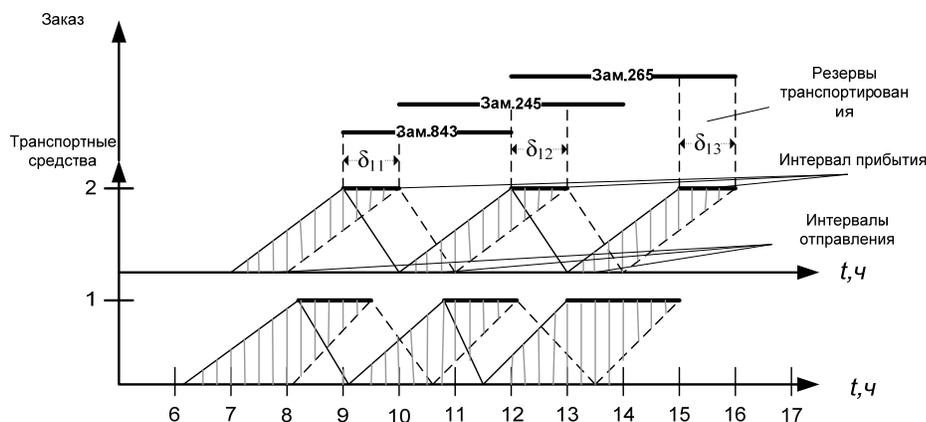


Рис. 1. График движения автотранспорта

На данном графике изображены интервалы прибытия и отправления транспортных средств и Наукові праці ВНТУ, 2009, № 4

резервы времени транспортирования в виде заштрихованной области, которая может быть максимизирована.

Так как рассчитанное время прибытия транспортных средств заданное не детерминировано, а интервалами. Это предоставляет ряд следующих преимуществ:

изъятия возмущений водителем самостоятельно или вместе с другими транспортными средствами или диспетчером (без перерасчетов в системе управления), тем самым увеличения периода управления;

система имеет высокую организационную гибкость [4], которая может рассчитываться по формуле $K_{орг} = \left(1 + \frac{\sum t_{прост} - \sum t_{резерв}}{\sum t_{трансп}} \right)^{-1} \rightarrow 1$, где заложенная идея заменить все технологические простой $t_{прост}$ на рассчитанные резервы времени $t_{резерв}$ относительно общего времени транспортирования $t_{трансп}$; коэффициент организационной гибкости $K_{ог}$ может быть максимально приближенной к 1.

Вместе с обеспечением организационной гибкости должны также рассматриваться другие виды гибкости, такие как: *технологическая* (количество типов ТС может быть минимальной), *структурная* (максимальная способность ТС быть взаимозаменяемыми), *интерактивная* (скорость перерасчета ИГТ достаточно высокая), *эволюционная* (независимость моделей ИГТ от развития технологий транспортирования) и *машинная* (реализация нового подхода недорогими средствами с использованием карманных ПК) *гибкости*.

2. Схемы движения транспорта. Основные определения. Классификация задач

Перед тем как перейти к рассмотрению методов построения графиков, предлагается рассмотреть возможные схемы движения транспортных средств (рис. 2), основные определения и задачи, которые решаются.

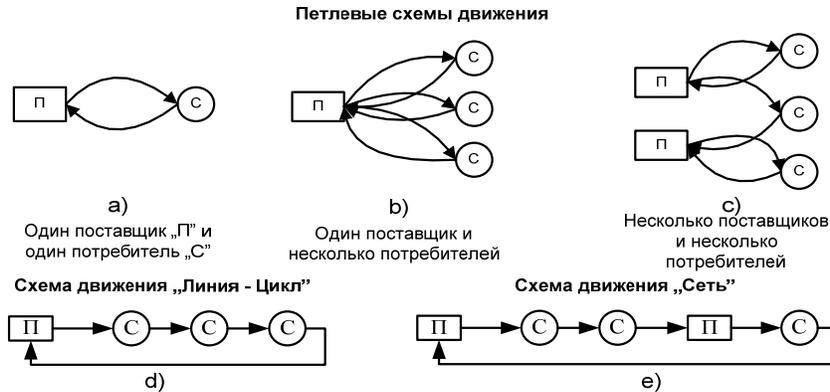


Рис. 2. Примеры схем транспортирования

В большинстве случаев (80%) используется петельная схема, которая и была избрана за основу.

Основные определения.

Рейс (r) – это процесс перевозки ресурсов (загрузка “1” – транспортирования “2” – разгрузка “3” – возвращения “4”). Подпроцессы “1+2+3” и “4” представляются упрощенно циклом.

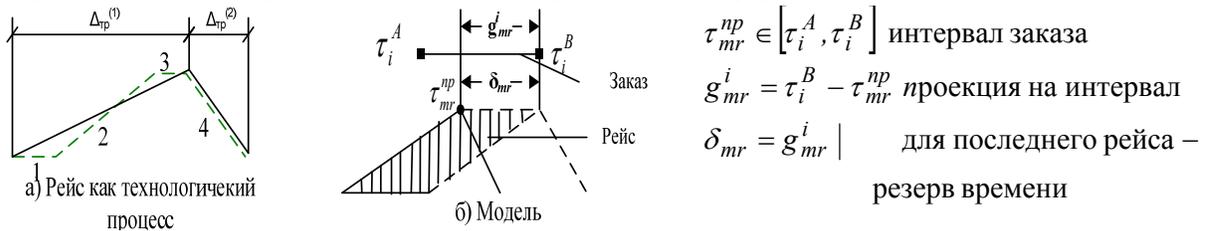


Рис. 3. Общее изображение рейса в виде части циклограммы

Последовательность (I) – это непрерывный набор рейсов между одним «П» и одним «С» в виде циклограммы, согласно технологическим и эргономичным требованиям.

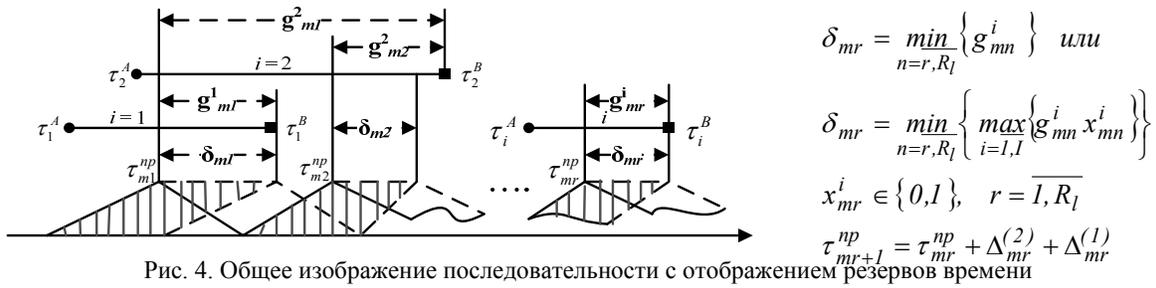


Рис. 4. Общее изображение последовательности с отображением резервов времени

Если резерв времени последнего рейса равняется проекции на интервалы $\delta_{mR} = g_{mR}^i$ то резервы времени δ_{mr} следующих рейсов определяются, как минимальное значение комбинаций проекций относительно каждого возможного заказа. Это выходит из логики расчета, учитывая время транспортирования $\Delta_{mp}^{(1)}$ груза и время возвращения $\Delta_{mp}^{(2)}$ к поставщику «П».

Исходной информацией для расчета ИГТ является интервал заказа $[\tau_i^A, \tau_i^B]$, где τ_i^A определяет начало для расчета резерва времени для заказа; τ_i^B обозначает начало работ, связанных с комплектом i . Начало работ может задаваться как субъективно так и на основе расчетов сети проектов [5] для проектно-ориентированного производства (ПОП).

На основе вариантов формирования исходной информации, возможных схем транспортирования, способа организации транспортных последовательностей и типа целевой функции оптимизации резервов времени предложена иерархическая схема классификации задач расчету ИГТ (рис. 5).

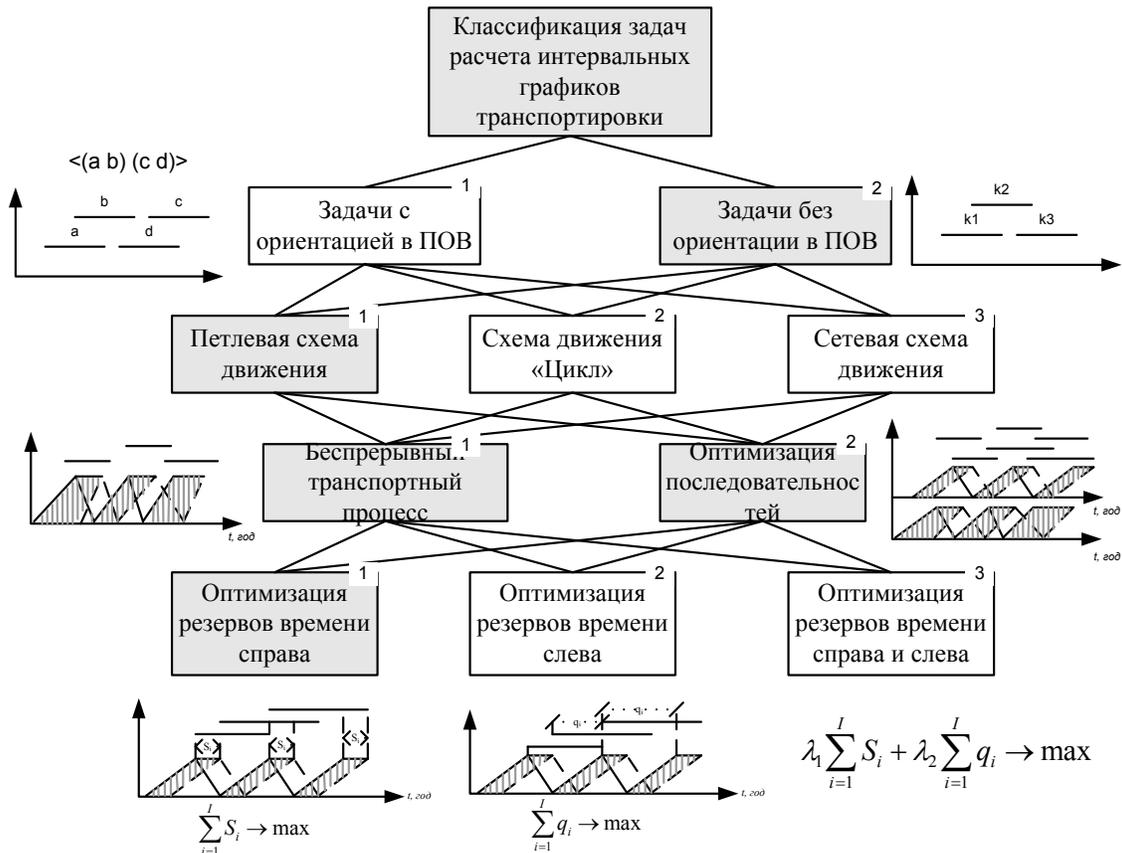


Рис. 5. Комплекс задач моделирования графиков транспортирования

каждого уровня:

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

Для всех задач существуют несколько целевых функций. Одна из них – это количество транспортных средств может быть минимальным.

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

де M – поисковое количество транспортных средств.

А также общие ограничения для всех задач :

$$M \in [\underline{M}, \overline{M}]; \text{ – Ограничение явного количества ТС;}$$

$$\delta_{mr} \geq \delta^{onm} \text{ – резерв времени должен быть не менее нормативного (заданного).}$$

Другие целевые функции имеют вид в зависимости от задачи. Далее рассмотрим постановку для следующей задачи:

Задача 2.1.2.1. «Оптимизация последовательностей и резервов времени зправа».

$$Z_2 = \sum_{m=1}^M L_m \rightarrow \min; \text{ – минимализация количества последовательностей для } m \text{ – го ТС;}$$

де L_m – количество непрерывных последовательностей для машины m

$$Z_3 = \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^{L_m} \sum_{r=1}^{R_l} \delta_{lr}^m \rightarrow \max; \text{ де } \delta_{lr}^m \text{ – резерв времени с учётом последовательностей "l";}$$

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

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

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

$$x_{mlr}^i \in \begin{cases} 1, \text{ если рейс "r" для заказа "i";} \\ 0, \text{ иначе;} \end{cases}$$

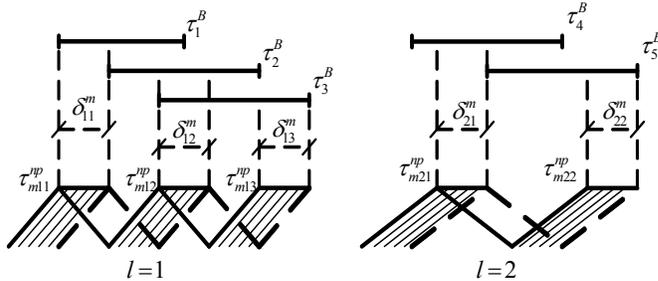


Рис. 6. Графическое изображение задачи 2.1.2.1

Графоаналитическое представление двух последовательностей $l = \overline{1, 2}$ для одной машины с целью минимизации количества последовательностей и максимизации резервов времени. Данная задача актуальная для производств с предыдущей комплектацией и необходимостью непрерывных поставок на объект (например, работа бетоновозов).

Задача решается путем разбивки на две модели [3]: Модель оптимизации последовательностей и модель назначения последовательностей к транспортным средствам.

Поисковыми сменными для задач есть:

$$\text{график движения } \tau_{mr}^{np} \in [\tau_i^A, \tau_i^B] \text{ и предназначенные заказ } x_{mr}^i \in \{0, 1\}; \quad i = \overline{1, I},$$

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

График движения транспорта имеет следующий вид.

$S = \{S_1, S_2, \dots, S_m \dots\}$ – множество графиков для каждого $m = \overline{1, M}$
 транспортного средства;

$S_m = \{\Omega_{m1}, \Omega_{m2}, \dots, \Omega_{ml} \dots\}$ – множество последовательностей Ω_{ml} графика S_m ; $l = \overline{1, L_m}$;

$\Omega_{ml} = \{e_{m1}^{(l)}, e_{m2}^{(l)}, \dots, e_{mr}^{(l)}\}$ – набор рейсов $r = \overline{1, R_l}$ последовательности l автомобилю m ;

$e_{mr}^{(l)} = (P_i, t_{mlr}^{oidnp}, t_{mlr}^{np}, i, v_i, C_i)$ – описание рейса (m, r) от поставщика P_i к потребителю C_i при
 транспортировке заказа и в период заказа $v_i = [\tau_i^A, \tau_i^B]$;

$t_{mlr}^{oidnp} = [\tau_{mlr}^{oidnp}, \tau_{mlr}^{oidnp} + \delta_{lr}^m]$; $t_{mlr}^{np} = [\tau_{mlr}^{np}, \tau_{mlr}^{np} + \delta_{lr}^m]$; - интервал отправления и интервал прибытия
 для рейса $e_{mr}^{(l)}$;

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

При наличии организационных перерывов (пересменка, обед, и т. п.) множество заказов $\{v_i\}$
 может быть сжатым во времени, а потом полный график S может быть скорректирован путем
 растяжения t_{mlr}^{oidnp} и t_{mlr}^{np} на значение организационных перерывов.

Данные резервы времени δ_{lr}^m , позднее, должны быть проверены на достаточность с помощью
 имитационной модели.

3. Числовой пример решения задачи 2.1.2.1

Для примера возьмем ситуацию, когда присутствуют один поставщик и два потребителя ресурсов.
 Также известно время движения от каждого поставщика к потребителю (1 час) и время возвращения
 (1 час).

На входе имеем заказы (без организационных перерывов), которые представлены в таблицы
 (табл. 2).

Таблица 2

Заказ

П – С	Зам.	Инт. 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 построен на принципах разветвлений и ограничений, и задача решается в три этапа.
 Группирования по признаку «один поставщик – один потребитель», оптимизация
 последовательностей и назначение последовательностей. Этапы сжатия и растяжения отсутствуют.

Заказ представляются в двух группах (1-1 и 1-2) и для каждой из них решается задача оптимизации
 последовательностей [3].

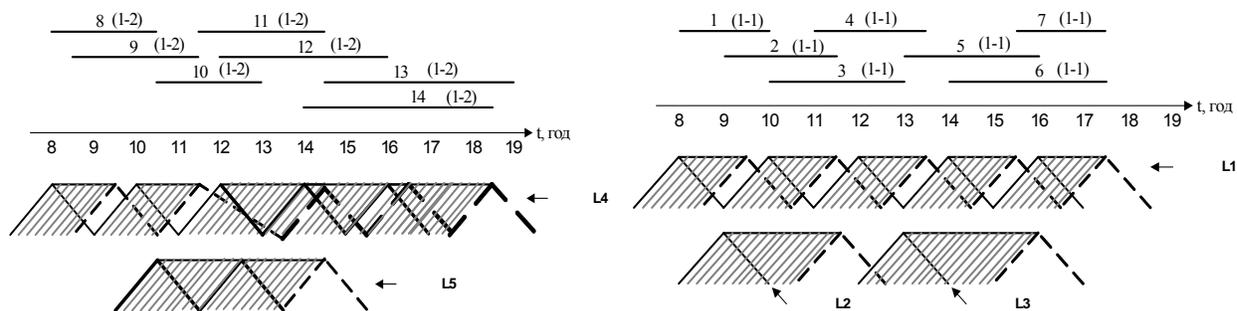
При расчете матричным методом генерируется таблица, в которой строками есть заказ, а
 столбиками являются рейсы ТС в последовательностях. На сечении относятся возможные значения
 проекций $g_{lr}^i = \tau_i^B - \tau_{lr}^{np}$ для каждого заказа в данном рейсе. После чего решаются назначения,

выбирается максимальное значение из проекций по каждому рейсу и строятся последовательности.

	Ω_{11}	Ω_{12}	Ω_{13}	Ω_{14}	Ω_{15}	Ω_{16}	Ω_{21}	Ω_{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	-	-

	Ω_{41}	Ω_{42}	Ω_{43}	Ω_{44}	Ω_{45}	Ω_{46}	Ω_{51}	Ω_{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 результате расчетов мы получили 5 последовательностей с рассчитанными резервами времени. Графически их можно изобразить следующим образом (рис.7 а, б).



а. б.
Рис. 7. «Графическое изображение последовательностей»

Таблица 3

Резервы времени в рейсах последовательностей

	e_{11}	e_{12}	e_{13}	e_{14}	e_{15}	σ	τ_{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 распределения последовательностей $\{\Omega\}$ по ТС с их минимизацией и общей целевой функцией $\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^{L_m} \sigma_{lm} x_{lm} \rightarrow \max$; обеспечения максимальных резервов. При оптимизации возможное сечение первого рейса последовательностей (при этом возможна потеря резервов времени).

В результате решения задачи назначения последовательностей было определено, что для транспортирования, необходимо использование четырех транспортных средств и получен следующий график транспортирования с разбивкой по транспортным средствам (табл. 4).

Таблица 4

ИГТ по транспортным средствам

ТС (m)	Зам. (i)	Время отпр. t_{mlr}^{sidn}	Время приб. t_{mlr}^{np}	Время зажажи. v^{np}	Маршрут	Резерв времени δ_{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

Продолжение табл. 4.

ТЗ (m)	Зам. (i)	Время отпр. $t_{mlr}^{відп}$	Время приб. t_{mlr}^{np}	Время закази. V^{np}	Маршрут	Резерв времени δ_{lr}^m
	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. Комплексный подход к планированию. Возможные способы формирования входной информации

Особенностью данных моделей является то, что на входе имеем детерминированные и нормативные данные, а на выходе результаты в виде интервалов, размер которых зависит от величины времени заказов. КР входных данных для задач это: *постоянная нормативная информация* (описание структуры составов, расстояния и временем (в минутах) транспортирования, среднее время загрузки и разгрузка, календарь дат с привязкой к организационным перерывам), *статистическая информация* (функции скорости движения транспорта во времени для каждого маршрута) и *оперативная информация* (перечень заказов с интервалами доставки).

Для задач, не связанных с ПОВ, перечень заказов задается диспетчерской службой АТП. Для задач связанных с ПОВ, перечень заказов рассчитывается на основе сквозного планирования «от сетевых графиков выполнения строительно-монтажных работ (БМР) к графику заказов на транспортирование». Привлечения сквозного планирования ПОВ также является нашей задачей и следующим развитием результатов [5]. В работе для формирования входных данных используются САД-система «AllPlan» и собственная разработка 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. – 20 с.
2. Бабушкин Г. Ф. Управление процессами заводских перевозок безрельсовым колесным транспортом на основе логистики / Запорожский национальный технический ун-т. — Запорожье : ЗНТУ, 2002. — 318 с. – ISBN 966-7809-26-9.
3. Babitsch, V. Optimale Steuerung eines integrierten hierarchischen Versorgungssystems «Vorfertigung, Transport und Montage von Betonelementen im komplexen Wohnungsbaun». 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 – 160 с.

Бабич Віталій Іванович – к. т. н., доцент, кафедра інформаційних технологій, e-mail: vitaly_babich@ukr.net, тел.: (044)-2415562; (068)-1183028.

Белик Юрій Анатолійович – аспірант, кафедра інформаційних технологій, e-mail: biluk_@mail.ru, тел.: (066)-7585442.

Київський національний університет будівництва та архітектури.