

УДК 65.012.123

Н. В. ЕРЕМЕНКО<sup>1</sup>, В. А. ПУЙДЕНКО<sup>2</sup><sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*<sup>2</sup> *Харьковский радиотехнический техникум, Украина*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗНОРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В ЛОГИСТИКЕ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК

*Ставится и решается задача согласования взаимодействий разнородных транспортных систем при доставке грузов потребителям. Анализируются возможные варианты организации пунктов перегрузки (ПП) грузов с учетом возможного складирования и дополнительной транспортировки. Проводится оптимизация размещения ПП и выбора их состава с учетом возможных логистических издержек с применением метода целочисленного линейного программирования. Описана многокритериальная постановка задачи оптимизации и введен комплексный критерий для оценки логистических задач. Предложена агентная модель для исследования материальных потоков в разнородных транспортных сетях.*

**Ключевые слова:** *разнородные транспортные сети, перегрузка грузов, оптимизация логистических издержек, агентное моделирование.*

### Введение

Глобализация производства и рынков сбыта продукции привела к необходимости использования разнородных транспортных систем для доставки грузов [1]. В настоящее время крупные корпорации и компании, связанные с массовым выпуском продукции, используют для доставки грузов разнородные транспортные сети. При этом переход грузов с одной транспортной системы на другую приводит к новым проблемам и издержкам, которые необходимо учитывать в логистике транспортных перевозок. Оптимизация этих издержек является актуальной задачей в логистике доставки грузов потребителям. Поэтому актуальна тема предлагаемой публикации, в которой ставится и решается задача обоснования выбора пунктов перегрузки при стыковке разнородных транспортных систем.

### Постановка задачи исследования

Возможные пункты перегрузки (ПП) разнородных транспортных систем (например, автомобильный и железнодорожный транспорты) могут быть реализованы, если магистрали разных транспортных сетей находятся достаточно близко друг от друга или совмещены на одной площади. При обосновании и выборе ПП необходимо учитывать возможные варианты реализации перевозок:

1. Доставка грузов по  $k$ -й транспортной магистрали  $\rightarrow$  перегрузка  $\rightarrow$  доставка груза по  $(k+1)$ -й магистрали.

2. Доставка груза по  $k$ -й транспортной магистрали  $\rightarrow$  складирование  $\rightarrow$  перегрузка  $\rightarrow$  доставка груза по  $(k+1)$ -й транспортной магистрали.

3. Доставка груза по  $k$ -й магистрали  $\rightarrow$  складирование  $\rightarrow$  дополнительная транспортировка  $\rightarrow$  перегрузка  $\rightarrow$  доставка груза по  $(k+1)$ -й транспортной магистрали.

4. Доставка груза по  $k$ -й транспортной магистрали  $\rightarrow$  дополнительная транспортировка  $\rightarrow$  перегрузка  $\rightarrow$  доставка груза по  $(k+1)$ -й транспортной магистрали.

5. Доставка груза по  $k$ -й транспортной магистрали  $\rightarrow$  дополнительная транспортировка  $\rightarrow$  складирование  $\rightarrow$  дополнительная транспортировка  $\rightarrow$  перегрузка  $\rightarrow$  доставка груза по  $(k+1)$ -й транспортной магистрали.

Количество возможных вариантов перевозок можно увеличить, учитывая новые схемы стыковки транспортных сетей.

Для оценки логистических издержек при стыковке разнородных транспортных систем введем следующие показатели:

A – стоимость аренды площади для организации ПП;

B – стоимость технологического оборудования для формирования ПП;

C – стоимость работ, связанных с созданием или модернизацией ПП;

D – затраты на персонал ПП;

E – риски, связанные с организацией ПП;

F – время, потраченное на перегрузку единицы груза (например, контейнер).

## Решение задачи исследования

Решение рассматриваемой задачи осуществим в два этапа:

1. На первом этапе необходимо выбрать количество и конкретизировать местоположение и состав пунктов перегрузки грузов.

2. На втором этапе необходимо провести динамическое моделирование грузопотоков с учетом ПП.

Для оптимизации состава ПП воспользуемся методом целочисленного линейного программирования [2]. Введем целочисленную переменную  $x_{ij} \in \{0;1\}$ , где  $x_{ij} = 0$ , когда  $i$ -е возможное местоположение ПП не используется при стыковке  $k$ -й и  $(k+1)$ -й транспортных систем. Если же  $x_{ij} = 1$ , то это означает, что выбрано  $i$ -е местоположение и конкретный  $j$ -й вариант реализации перегрузки. Необходимо учесть следующее естественное ограничение, связанное с тем, что менеджер транспортировки грузов задает как минимальное количество возможных ПП –  $L_1$ , так и максимальное –  $L_2$  для организации стыковки разнородных транспортных систем.

Поэтому  $L_2 \geq \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} \geq L_1$ , где  $N$  – количество

возможных местоположений ПП,  $N_i$  – количество возможных вариантов организации ПП для  $i$ -го местоположения ПП. С учетом введенной переменной  $x_{ij}$  показатели для оценки логистических издержек при стыковке разнородных магистралей будут выглядеть следующим образом:

$$A = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} a_{ij},$$

где  $a_{ij}$  – стоимость аренды площади для  $j$ -го варианта организации ПП при условии выбора  $i$ -го местоположения.

$$B = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} b_{ij},$$

где  $b_{ij}$  – стоимость технологического оборудования  $j$ -го варианта ПП при условии выбора  $i$ -го местоположения.

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} c_{ij},$$

где  $c_{ij}$  – стоимость работ, связанных с созданием (модернизацией)  $j$ -го варианта ПП с учетом  $i$ -го местоположения.

$$D = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} d_{ij},$$

где  $d_{ij}$  – затраты на персонал при организации  $j$ -го варианта ПП с учетом  $i$ -го местоположения.

$$E = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} e_{ij},$$

где  $e_{ij}$  – риск, связанный с организацией  $j$ -го варианта ПП с учетом  $i$ -го местоположения.

$$F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} f_{ij},$$

где  $f_{ij}$  – среднее время, необходимое на перегрузку единицы груза для  $j$ -го варианта ПП с учетом  $i$ -го местоположения.

Сформулируем следующие постановки задач оптимизации логистических затрат, связанных с перегрузкой грузов при стыковке разнородных транспортных систем:

1.1. Необходимо минимизировать стоимость аренды площади для организации ПП:

$$\min A, A = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} a_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$B \leq B', C \leq C', D \leq D', E \leq E', F \leq F',$$

где  $A', B', C', D', E', F'$  – ограничения на соответствующие показатели.

1.2. Необходимо минимизировать стоимость технологического оборудования для формирования ПП:

$$\min B, B = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} b_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$A \leq A', C \leq C', D \leq D', E \leq E', F \leq F'.$$

1.3. Необходимо минимизировать стоимость работ, связанных с созданием (модернизацией) ПП:

$$\min C, C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} c_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$A \leq A', B \leq B', D \leq D', E \leq E', F \leq F'.$$

1.4. Необходимо минимизировать затраты на персонал ПП:

$$\min D, D = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} d_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$A \leq A', B \leq B', C \leq C', E \leq E', F \leq F'.$$

1.5. Необходимо минимизировать риски, связанные с организацией новых ПП:

$$\min E, E = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} e_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$A \leq A', B \leq B', C \leq C', D \leq D', F \leq F'.$$

1.6. Необходимо минимизировать время, потраченное на перегрузку единицы груза:

$$\min F, F = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} f_{ij},$$

с учетом ограничений:

$$A \leq A', B \leq B', C \leq C', D \leq D', E \leq E'.$$

1.7. Многокритериальная постановка задачи. Введем комплексный критерий для оценки логистических затрат, связанных со стыковкой разнородных транспортных систем:

$$K = \alpha_A \hat{A} + \alpha_B \hat{B} + \alpha_C \hat{C} + \alpha_D \hat{D} + \alpha_E \hat{E} + \alpha_F \hat{F},$$

где  $\alpha_A, \alpha_B, \alpha_C, \alpha_D, \alpha_E, \alpha_F$  – «веса» (значимость) критериев, которые оцениваются с помощью экспертов;

$$\sum_{k=1}^6 \alpha_k = 1;$$

$$\hat{A} = \frac{A - A^*}{A' - A^*}, \hat{B} = \frac{B - B^*}{B' - B^*}, \hat{C} = \frac{C - C^*}{C' - C^*},$$

$$\hat{D} = \frac{D - D^*}{D' - D^*}, \hat{E} = \frac{E - E^*}{E' - E^*}, \hat{F} = \frac{F - F^*}{F' - F^*},$$

здесь  $A^*, B^*, C^*, D^*, E^*, F^*$  – экстремальные (минимальные) значения критериев, полученные в результате решения задач локальной оптимизации 1.1 – 1.6.

Необходимо минимизировать логистические издержки, связанные со стыковкой разнородных транспортных систем:  $\min K$ ,

$$K = \alpha_A \frac{A - A^*}{A' - A^*} + \alpha_B \frac{B - B^*}{B' - B^*} + \alpha_C \frac{C - C^*}{C' - C^*} +$$

$$+ \alpha_D \frac{D - D^*}{D' - D^*} + \alpha_E \frac{E - E^*}{E' - E^*} + \alpha_F \frac{F - F^*}{F' - F^*} =$$

$$= \frac{\alpha_A}{A' - A^*} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} a_{ij} + \frac{\alpha_B}{B' - B^*} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} b_{ij} +$$

$$+ \frac{\alpha_C}{C' - C^*} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} c_{ij} + \frac{\alpha_D}{D' - D^*} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} d_{ij} +$$

$$+ \frac{\alpha_E}{E' - E^*} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} e_{ij} + \frac{\alpha_F}{F' - F^*} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij} f_{ij} -$$

$$- \frac{\alpha_A A^*}{A' - A^*} - \frac{\alpha_B B^*}{B' - B^*} - \frac{\alpha_C C^*}{C' - C^*} -$$

$$- \frac{\alpha_D D^*}{D' - D^*} - \frac{\alpha_E E^*}{E' - E^*} - \frac{\alpha_F F^*}{F' - F^*}.$$

2.1. Моделирование грузопотоков с учетом ПП осуществим с помощью агентного имитационного моделирования [3]. Для этого сформируем следующий состав агентов:

1. Агент «Заявка на обслуживание груза». Заявка может генерироваться следующим способом:

- периодическое возникновение заявки;
- заявка формируется по заданному плану графика;
- заявка формируется случайным способом (задан закон распределения).

2. Агент «Имитирующий движение груза» по k-й транспортной магистрали.

3. Агент «Имитирующий движение груза» по (k+1)-й транспортной магистрали.

4. Агент «Пункт перегрузки», имитирующий перегрузку ПП по одной из принятых стратегий (1 ÷ 5).

5. Агент «Результаты моделирования».

6. Агент «Управления моделированием» задает сценарий транспортировки и перегрузки грузов.

На рис. 1 представлена структурная схема агентной модели.

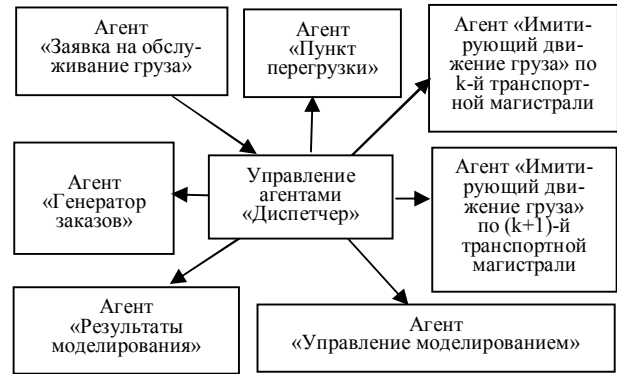


Рис. 1. Структурная схема агентной модели

Агент «Результаты моделирования» позволяет определить:

- загрузку k-й и (k+1)-й транспортной сети (магистралей);
- загрузку и простой отдельных ПП;
- общее время, потраченное на перегрузку (абсолютное и в процентах).

### Заклучение

Предложенный подход целесообразно использовать при обосновании логистических издержек (затрат), связанных со стыковкой разнородных транспортных сетей для доставки грузов.

### Литература

1. *Геопространственные производственные системы. Часть 1. Анализ, моделирование, проектирование [Текст] : моногр. / В. М. Илюшко,*

- О. Е. Федорович, О. Н. Замирец, Л. Д. Греков. – Х. : – М. : Наука, 1986. – 500 с.  
 Нац. аэрокосм. ун-т «Харк. авиац. ин-т», 2011. – 250 с.
2. Дубов, Ю. А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов системы [Текст] / Ю. А. Дубов, С. И. Травкин, В. Н. Якимец.
3. Швецов, А. И. Распределенные интеллектуальные информационные системы [Текст] / А. Н. Швецов, С. А. Яковлев. – СПб. : СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. – 318 с.

Поступила в редакцию 17.04.2014, рассмотрена на редколлегии 11.06.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., профессор кафедры инженерии программного обеспечения И. В. Шостак, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ РІЗНОРІДНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ В ЛОГІСТИЦІ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ

*Н. В. Єременко, В. О. Пуйденко*

Ставиться і вирішується задача узгодження взаємодій різнорідних транспортних систем при доставці вантажів споживачам. Аналізуються можливі варіанти організації пунктів перевантаження (ПП) вантажів з урахуванням можливого складування та додаткового транспортування. Проводиться оптимізація розміщення ПП і вибору їх складу з урахуванням можливих логістичних витрат із застосуванням методу цілочисельного лінійного програмування. Описано багатокритеріальну постановку задачі оптимізації та введено комплексний критерій для оцінки логістичних витрат. Запропоновано агентну модель для дослідження матеріальних потоків в різнорідних транспортних мережах.

**Ключові слова:** різнорідні транспортні мережі, перевантаження вантажів, оптимізація логістичних витрат, агентне моделювання.

### MODELING INTERACTION OF DIVERSE TRANSPORT SYSTEMS CARGO LOGISTICS

*N. V. Eremenko, V. A. Puydenko*

Pose and solve the problem of matching of heterogeneous interactions of transportation systems in the delivery of goods to customers. Analyzing the possible options for cargoes transshipment points (TP) taking into account the possible additional storage and transportation. The optimization of the placement and selection of TP composition, taking into account the possible logistical costs using the integer linear programming method. Described multicriteria optimization formulation of the problem and introduced a comprehensive criterion for evaluation of logistical problems. Agent model is proposed for the study of material flow in heterogeneous transport networks.

**Keywords:** heterogeneous transport network overload goods, optimization of logistics costs, agent-based modeling.

**Єременко Наталія Вадимовна** – молодший научний співробітник кафедри інформаційних управляючих систем, Національний аэрокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: khai302@ukr.net.

**Пуйденко Вадим Алексеевич** – преподаватель специальных дисциплин, Харьковский радиотехнический техникум, Харьков, Украина.