

Проектирование сети автотранспортных парков*

Докт. экон. наук, проф. Р. Б. Ивуть¹⁾, канд. техн. наук П. В. Попов²⁾,
докт. техн. наук, проф. И. Ю. Мирецкий²⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь),

²⁾Волжский гуманитарный институт, филиал Волгоградского государственного университета
(Волжский, Российская Федерация)

© Белорусский национальный технический университет, 2016
Belarusian National Technical University, 2016

Реферат. В современных условиях важным фактором развития регионов стран является размер инвестиций. Существенное влияние на инвестиционную привлекательность регионов оказывает логистическая инфраструктура, которая обеспечивает комплексное транспортное, распределительное, информационное и иное обслуживание. Отсутствие должного внимания на разработку и реализацию стратегии развития логистической инфраструктуры со стороны руководителей регионов вызывает нежелание крупных федеральных и транснациональных компаний вкладывать инвестиции в инфраструктурные проекты. Одним из основных элементов логистической инфраструктуры является сеть автотранспортных терминалов. Она позволяет оптимизировать продвижение материального потока от точки зарождения до точки потребления с наименьшими затратами при поддержании заданного уровня обслуживания. К основным объектам транспортной инфраструктуры относят автомобильный транспорт, который обладает наибольшей гибкостью по сравнению с другими видами транспортных средств, что обуславливает его широкое применение. Для перераспределения грузопотоков внутри регионов стран формируют сеть автотранспортных парков (терминалов). Цель настоящего исследования – разработка математической модели формирования транспортной инфраструктуры на территории регионов стран. В статье предложен подход к формированию сети автотранспортных парков (терминалов) на территории крупного региона с учетом сформированной сети распределительно-подсортировочных складов. Построена модель для решения задачи минимизации суммарных затрат, связанных с содержанием автотранспортных парков, доставкой товаров от поставщиков и производителей на распределительно-подсортировочные склады и со складов – потребителям, с перегонем порожнего автомобильного транспорта, а также с грузопереработкой товаров. Модель позволяет определить оптимальное количество и месторасположение автотранспортных парков (терминалов) с учетом возможных мест их размещения, их мощность и учитывает ограничение по типам и количеству транспортных средств.

Ключевые слова: автотранспортный парк, транспортная инфраструктура, математическая модель, транспортный терминал, инфраструктура региона, опорная сеть, распределительно-подсортировочный склад

Для цитирования: Ивуть, Р. Б. Проектирование сети автотранспортных парков / Р. Б. Ивуть, П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий // *Наука и техника*. 2016. Т. 15, № 5. С. 442–446

Designing of an Automobile Fleet Network

R. B. Ivut¹⁾, P. V. Popov²⁾, I. Yu. Miretskiy²⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

²⁾Volzhsy Institute of Humanities Branch of Volgograd State University (Volzhsy, Russian Federation)

Abstract. Investment volume is considered as an important factor in regional development under current conditions. Logistical infrastructure which ensures a complex transport, distributive, information and other services exerts a significant influence

Адрес для переписки

Попов Павел Владимирович
Волжский гуманитарный институт,
филиал Волгоградского государственного университета
ул. 40 лет Победы, 11,
404133, г. Волжский, Волгоградская обл.,
Российская Федерация
Тел.: +7 917 649-78-22
donpascha@yandex.ru

Address for correspondence

Popov Pavel V.
Volzhsy Institute of Humanities
Branch of Volgograd State University
11 of 40 year Victory str.,
404133, Volzhsky, Volgogradskaya obl.,
Russian Federation
Tel.: +7 917 649-78-22
donpascha@yandex.ru

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 16-12-34015).

on regional investment attractiveness. Lack of clear vision on development and execution of development strategy for logistics infrastructure from the side of regional authorities results in unwillingness of large federal and transnational companies to provide investments in infrastructure projects. Network of automotive transport terminals is one of the main elements in logistics infrastructure. The network allows to optimize a flow of material goods from the point of their origin to the point of their consumption with the lowest possible costs and the required level of service. Automobile transport is one of the main objects of transport infrastructure and it is characterized by rather high flexibility in comparison with other types of transport facilities that preconditions its widespread application. Network of automobile fleets (terminals) has been formed for redistribution of goods traffic within the concerned regions. The purpose of the present research is to develop a mathematical model for formation of transport infrastructure on the territory of regions. The paper proposes an approach for formation of automobile fleet (terminal) network on the territory of a large region with due account of the established network of distribution and sorting-out warehouse facilities. A model has been developed for solving the problem pertaining to minimization of aggregate costs related to maintenance of automobile fleets, delivery of goods to and from distribution and sorting-out warehouse facilities to consumers, ferry of empty trucks and goods handling. The model makes it possible to determine optimal number and location area of automobile fleets (terminals) while accounting for their possible locations, capacity and limitations on type and number of transport facilities.

Keywords: automobile fleet, transport infrastructure, mathematical model, transportation terminal, regional infrastructure, backbone network, distribution and warehouse facilities

For citation: Ivut R. B., Popov P. V., Miretskiy I. Yu. (2016) Designing of an Automobile Fleet Network. *Science & Technique*. 15 (5), 442–446 (in Russian)

Введение

Важнейшим элементом развития регионов стран является транспортная инфраструктура. В соответствии с современной практикой она позволяет обеспечить выполнение следующего требования: «нужный товар требуемого качества и количества в заданное время и с оптимальными затратами». К ключевым объектам транспортной инфраструктуры относят транспортные терминалы (парки), транспортную сеть, транспортные средства.

Один из важнейших элементов видов транспортного средства – автомобильный транспорт. Перевозки автотранспортом обладают наибольшей гибкостью по сравнению с другими видами перевозок, поскольку они обеспечивают доставку товара «от двери до двери». Для обслуживания крупного региона с большим числом точек отправки и получения груза альтернативы автомобильным перевозкам фактически нет. Поэтому формирование эффективной транспортной инфраструктуры представляется весьма важной задачей.

Постановка задачи

Рассмотрим проблему моделирования автотранспортной инфраструктуры региона [1, 2]. С целью определения оптимального месторасположения и мощности автотранспортных парков на территории региона поставим следующую задачу оптимизации: составить такой план размещения автотранспортных парков, который обеспечит минимальные суммарные затраты на их содержание, доставку товаров от поставщиков и производителей на распределительно-подсортировочные склады и со складов

общего назначения потребителям, а также на грузопереработку товаров [3]. Будем считать, что места возможного расположения транспортных парков известны. Построим математическую модель для решения задачи.

При составлении модели полагаем, что [4, 5]:

- известны места расположения производителей продукции (производственных предприятий) и их характеристики;
- определен вид товароносителя, на котором формируется транспортный пакет;
- заданы максимальные объемы производства каждого товара на каждом предприятии;
- известны места расположения поставщиков разнородной продукции, отгружающих товар на заданных типах товароносителей, и запасы продукции у них;
- известны пункты размещения распределительно-подсортировочных складов общего назначения на территории региона и их мощности;
- для каждого распределительно-подсортировочного склада даны издержки на грузопереработку товаров на заданных типах товароносителей;
- известны пункты потребления по всем видам продукции и объемы спроса;
- заданы места возможного размещения автомобильных парков;
- определены возможные виды транспортных средств, осуществляющих перевозку грузов;
- заданы транспортные затраты по доставке единицы каждого вида продукции:
 - a) со склада общего назначения до пунктов потребления;

б) со складов производителей и от поставщиков до складов общего назначения;

- заданы транспортные издержки на перемещение транспортного средства от автомобильного парка до поставщиков, производителей и распределительно-подсортировочных центров.

Для описания точек сети отправки/получения продукции (товаров) введем следующую индексацию: i – номер пункта размещения транспортного парка ($i = \overline{1, I}$) с H видами транспортных средств; h – тип транспортного средства ($h = \overline{1, H}$); j – номер пункта расположения распределительно-подсортировочного склада общего назначения ($j = \overline{1, J}$), обрабатывающего L видов товаров; l – вид товара ($l = \overline{1, L}$); k – номер пункта потребления товаров (магазин розничной торговли), $k = \overline{1, K}$; p – номер производственного предприятия ($p = \overline{1, P}$); g – номер поставщика товаров ($g = \overline{1, G}$).

Сеть доставки/распределения товаров представлена на рис. 1.

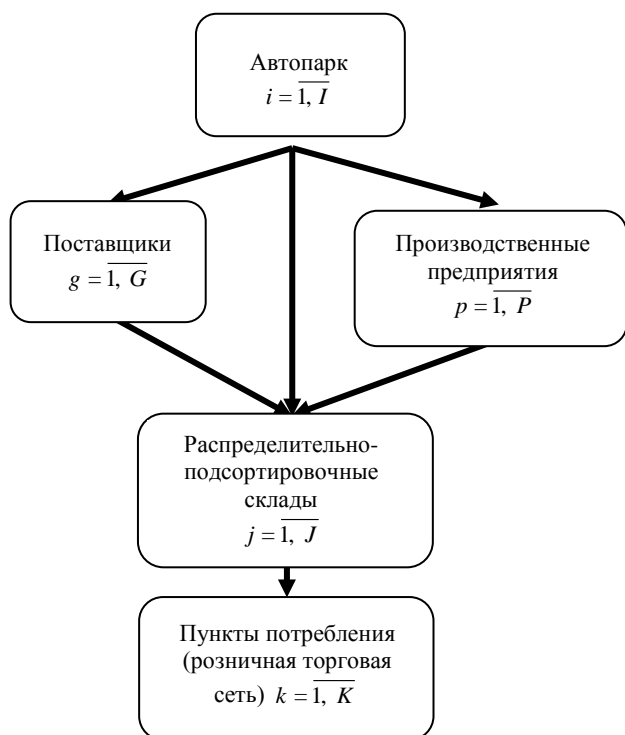


Рис. 1. Сеть доставки/распределения товаров

Fig. 1. Network of goods delivery/distribution

По каждому виду l товара, как было отмечено ранее, известны:

$$\mathbf{D}_k = \begin{pmatrix} d_{k1} \\ \vdots \\ d_{kr} \end{pmatrix}; \mathbf{V}_p = \begin{pmatrix} v_{p1} \\ \vdots \\ v_{pr} \end{pmatrix}; \mathbf{S}_g = \begin{pmatrix} s_{g1} \\ \vdots \\ s_{gr} \end{pmatrix}; \mathbf{W}_j = \begin{pmatrix} w_{j1} \\ \vdots \\ w_{jr} \end{pmatrix},$$

где d_{kl} – потребность в l -м товаре k -го магазина розничной торговли; v_{pl} – объем производства l -го товара на p -м производственном предприятии; s_{gl} – запас l -го товара у g -го поставщика; w_{jl} – заданная мощность по l -му товару распределительно-подсортировочного склада общего назначения в j -м пункте размещения [6–8].

Предполагается, что для обслуживания сети на все автопарки выделяется не более чем N_h единиц транспортного средства h -го типа ($h = \overline{1, H}$). Опишем затраты, связанные с функционированием автомобильного парка и сети доставки и переработки товаров. Это затраты по размещению автотранспортного парка в некотором пункте, транспортные затраты по доставке товаров, затраты на перегон порожнего автотранспорта, а также затраты на грузопереработку [1, 9, 10].

Приведенные затраты $f_i(x_i)$, связанные с размещением автотранспортного парка в i -м пункте, составляют

$$f_i(x_i) = c_i(x_i) + EK_i(x_i),$$

где $c_i(x_i)$ – годовые эксплуатационные затраты i -го автотранспортного парка без учета расходов на доставку товаров; $K_i(x_i)$ – одновременные капитальные вложения на строительство i -го автотранспортного парка; E – коэффициент эффективности капитальных вложений.

Суммарные приведенные затраты

$$z_1 = \sum_{i=1}^I f_i(x_i).$$

При определении затрат, связанных с использованием автотранспорта, учитываем следующие тарифы:

- 1) $c_{(1)jkh}^l$ – стоимость доставки (транспортные затраты) единицы транспортного пакета l -го товара из j -го склада общего назначения в k -й пункт потребления h -м видом транспорта;
- 2) $c_{(2)pih}^l$ – то же со склада p -го производственного предприятия в j -й склад общего на-

значения h -м видом транспорта (для каждого вида товара имеются ограничения по объему производства в единицу времени);

3) $c_{(3)gjh}^l$ – то же от g -го поставщика в j -й склад общего назначения h -м видом транспорта;

4) $c_{(4)iph}$ – транспортные затраты на перегон единицы порожнего автомобильного транспорта h -го типа от i -го автопарка в p -е производственное предприятие;

5) $c_{(5)igh}$ – то же g -му поставщику;

6) $c_{(6)ijh}$ – то же в j -й распределительно-подсортировочный склад.

Соответствующие переменные модели (искомые величины) – это объемы перевозок $x_{(1)jkh}^l, x_{(2)pjh}^l, x_{(3)gjh}^l$ и количество перегоняемых порожних автомобилей $x_{(4)iph}, x_{(5)igh}, x_{(6)ijh}$.

Суммарные затраты, связанные с перевозкой грузов, теперь могут быть представлены в виде

$$z_2 = \sum_{l=1}^L \sum_{h=1}^H \left(\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{(1)jkh}^l x_{(1)jkh}^l + \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J c_{(2)pjh}^l x_{(2)pjh}^l + \sum_{g=1}^G \sum_{j=1}^J c_{(3)gjh}^l x_{(3)gjh}^l \right),$$

а суммарные затраты на перегон порожнего транспорта – в виде

$$z_3 = \sum_{i=1}^I \sum_{h=1}^H \left(\sum_{p=1}^P c_{(4)iph} x_{(4)iph} + \sum_{g=1}^G c_{(5)igh} x_{(5)igh} + \sum_{j=1}^J c_{(6)ijh} x_{(6)ijh} \right).$$

Перейдем к последнему виду затрат – затратам, связанным с грузопереработкой товаров на распределительно-подсортировочных складах. Для транспортного пакета l -го товара и j -го склада они тарифицируются как c_j^l . Учитывая, что поступление товаров на склады происходит в объемах

$$\sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J \sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H x_{(2)pjh}^l \quad \text{и} \quad \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J \sum_{g=1}^G \sum_{h=1}^H x_{(3)gjh}^l$$

от предприятий и поставщиков соответственно, а отгрузка – в объеме

$$\sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H x_{(1)jkh}^l,$$

находим суммарные затраты на грузопереработку в виде:

$$z_4 = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J c_j^l \left(\sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H x_{(1)jkh}^l + \sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H x_{(2)pjh}^l + \sum_{g=1}^G \sum_{h=1}^H x_{(3)gjh}^l \right).$$

Таким образом, затраты, связанные с функционированием автомобильного парка и сети доставки и переработки товаров, составляют

$$Z = z_1 + z_2 + z_3 + z_4.$$

Задача состоит в определении месторасположения автомобильных парков, количества и видов транспорта и такого плана перевозок, чтобы затраты Z были минимальными, и удовлетворялся спрос D_k каждого потребителя. Функцию Z требуется минимизировать при следующих ограничениях.

1. Объем ввозимых на склад и вывозимых со склада товаров не должен превышать его мощности ни по одному из видов товара:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{h=1}^H x_{(2)pjh}^l + \sum_{g=1}^G \sum_{h=1}^H x_{(3)gjh}^l \leq w_{jl}, \quad j = \overline{1, J}; \quad l = \overline{1, L};$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{h=1}^H x_{(1)jkh}^l \leq w_{jl}, \quad j = \overline{1, J}; \quad l = \overline{1, L}.$$

2. Потребность каждого магазина розничной торговли по каждому товару должна быть полностью удовлетворена

$$\sum_{j=1}^J \sum_{h=1}^H x_{(1)jkh}^l \leq d_{kl}, \quad k = \overline{1, K}; \quad l = \overline{1, L}.$$

3. Количество продукции, вывозимой с каждого производственного предприятия, не должно превосходить его объемов производства ни по одному из видов товара

$$\sum_{j=1}^J \sum_{h=1}^H x_{(2)pjh}^l \leq v_{pl}, \quad p = \overline{1, P}; \quad l = \overline{1, L}.$$

Аналогичное требование должно выполняться и для поставщиков

$$\sum_{j=1}^J \sum_{h=1}^H x_{(3)gjh}^l \leq s_{gl}, \quad g = \overline{1, G}; \quad l = \overline{1, L}.$$

Ограничения по типам и количеству транспортных средств

$$\sum_{i=1}^I \left(\sum_{p=1}^P x_{(4)iph} + \sum_{g=1}^G x_{(5)igh} + \sum_{j=1}^J x_{(6)ijh} \right) \leq N_h, \quad h = \overline{1, H}.$$

Все переменные могут принимать неотрицательные целочисленные значения:

$$x_{(1)jkh}^l; x_{(2)pjh}^l; x_{(3)gjh}^l; x_{(4)iph}; x_{(5)igh}; x_{(6)ijh} \in \mathbb{Z}_{\geq 0},$$

$$l = \overline{1, L}; \quad j = \overline{1, J}; \quad k = \overline{1, K}; \quad p = \overline{1, P}; \quad g = \overline{1, G}; \\ h = \overline{1, H}; \quad i = \overline{1, I}.$$

ВЫВОД

Построена модель для решения задачи минимизации суммарных затрат, связанных с содержанием автотранспортных парков, доставкой товаров от поставщиков и производителей на распределительно-подсортировочные склады и со складов – потребителям, с перегонем порожнего автомобильного транспорта, а также с грузопереработкой товаров. Модель позволяет определить оптимальное количество и месторасположение автотранспортных парков (терминалов) с учетом возможных мест их размещения, их мощность и учитывает ограничения по типам и количеству транспортных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емеличев, В. А. Метод построения последовательно-планов для решения задач дискретной оптимизации / В. А. Емеличев, В. И. Комлик. М.: Наука. Главная ред. физ.-мат. лит.-ры, 1981. 208 с.
2. Емеличев, В. А. К задачам дискретной оптимизации / В. А. Емеличев // ДАН СССР. 1970. Т. 192, № 5.
3. Попов, П. В. Формирование сети распределительно-подсортировочных складов на территории Волгоградской области / П. В. Попов, А. В. Сопит // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2014. Т. 20, № 17 (144). С. 107–111.
4. Алексин, Р. В. Исследование взаимодействия элементов в транспортно-складском комплексе / Р. В. Алексин. Л., 1984. 215 с.
5. Попов, П. В. Моделирование складской инфраструктуры регионов Российской Федерации / П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий // Логистика. 2015. № 6. С. 24–27.
6. Рубенс, М. Математическое моделирование и управление распределением / М. Рубенс. Брюссель: Бельгийский ин-т кадров, технического содействия и трансфера технологий, 1993. 31 с.
7. Построение региональной сети складов общего назначения на территории Волгоградской области / И. В. Да-

выдкина [и др.] // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2015. № 2 (31). С. 99–102.

8. Попов, П. В. Формирование опорной сети складов общего пользования на территории Волгоградской области / П. В. Попов, И. Ю. Мирецкий, А. А. Полковников // Логистика. 2014. № 4. С. 36–39.
9. Бахтин, А. Е. Методы решения задач территориально-производственного планирования / А. Е. Бахтин. Новосибирск: Наука, 1976. 234 с.
10. Емеличев, В. А. Применение динамического программирования к решению задачи размещения / В. А. Емеличев, В. И. Комлик / ДАН БССР. 1966. № 10.

Поступила 12.07.2016

Подписана в печать 14.09.2016

Опубликована онлайн 26.09.2016

REFERENCES

1. Emelichev V. A., Komlik V. I. (1981) *Method for Construction of Coherent Plan to Solve Problems of Discrete Optimization*. Moscow, Science. Chief Editorial Board of Physical and Mathematical Literature. 208 (in Russian).
2. Emelichev V. A. (1970) To the Objectives of Discrete Optimization. *Doklady Akademii Nauk SSSR* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences], 192 (5) (in Russian).
3. Popov P. V., Sopot A. V. (2014) Formation of Distribution and Sorting-Out Warehouse Network on the Territory of the Volgograd Region. *Izvestiia Volgogradskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta* [Proceedings of Volgograd State Technical University], 20 (17), 107–111 (in Russian).
4. Aleksin R. V. (1984) *Investigations on Interaction of Elements in Transport and Warehouse Complex*. Leningrad. 215 (in Russian).
5. Popov P. V., Miretsky I. Yu. (2015) Simulation of Warehouse Infrastructure in the Regions of Russian Federation. *Logistika* [Logistics], (6), 24–27 (in Russian).
6. Rubens M. (1993) *Mathematical Modeling and Distribution Management*. Brussels, Belgian Institute of Personnel, Technical Assistance and Technology Transfer. 31 (in Russian).
7. Davydkina I. B., Morozov A. V., Popov P. V., Shevchenko O. Construction of Regional Network for General Purpose Warehouses on the Territory of the Volgograd Region. *Biznes. Obrazovanie. Pravo. Vestnik Volgogradskogo Instituta Biznesa* [Business. Education. Law. Bulletin of the Volgograd Institute of Business], 31 (2), 99–102 (in Russian).
8. Popov P. V., Miretsky I. Yu., Polkovnikov A. A. (2014) Formation of Backbone Network for General Purpose Warehouses on the Territory of the Volgograd Region. *Logistika* [Logistics], (4), 36–39 (in Russian).
9. Bakhtin A. E. (1976) *Methods for Solving Problems of Territorial-Production Planning*. Novosibirsk, Nauka. 234 (in Russian).
10. Emelichev V. A., Komlik V. I. (1966) Application of Dynamic Programming to Solve an Allocation Problem. *Doklady Akademii Nauk BSSR* [Proceedings of the BSSR Academy of Sciences], (10) (in Russian).

Received: 12.07.2016

Accepted: 14.09.2016

Published online: 26.09.2016