



Павел Попов,
к.т.н., доцент кафедры прикладной математики
и информатики, Волжский гуманитарный
институт Волгоградского государственного
университета



Игорь Мирецкий,
д.т.н., профессор кафедры прикладной
математики и информатики, Волжский
гуманитарный институт Волгоградского
государственного университета

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕГИОНА*

Аннотация. В работе обоснована необходимость совершенствования логистической инфраструктуры регионов Российской Федерации. Рассматриваются проблемы ее оптимизации, исследуются математические модели соответствующих элементов логистической инфраструктуры. Предлагается подход к решению поставленных задач оптимизации.

Ключевые слова. Логистическая инфраструктура, региональная складская сеть, транспортная инфраструктура, непрерывная релаксация, сепарабельное программирование, метод ветвей и границ.

Annotation. The paper discusses the problem of improving the logistics infrastructure of the regions of the Russian Federation. The problems of optimization of the warehouse and transport infrastructure of the region are considered, mathematical models of the corresponding elements of the logistics infrastructure are explored. An approach to solving optimization problems is proposed.

Key words. Logistical infrastructure, regional warehouse network, transport infrastructure, continuous relaxation, separable programming, branch and bound method.

Одним из приоритетных направлений реализации Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации является «формирование новых центров социально-экономического развития, опирающихся на развитие энергетической и транспортной инфраструктуры, и создание сети территориально-производственных кластеров» [1]. Как одна из главных задач первого этапа в концепции указана реализация масштабных проектов по развитию транспортной инфраструктуры.

Основные положения, определяющие развитие транспортной инфраструктуры в РФ, изложены в проекте «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года» [2]. В рамках данной стратегии отличительными особенностями формирования транспортной системы при реализации инновационного сценария развития станет повышение роли логистической инфраструктуры в организации товародвижения. Ключевыми объекта-

ми товаропроводящей сети являются «транспортно-логистические комплексы, обеспечивающие ускоренное развитие интермодальных перевозок» [2].

С целью реализации условий для формирования комфортной потребительской среды «Стратегия развития торговли в Российской Федерации на 2015–2016 годы и период до 2020 года» предусматривает построение на территории субъектов РФ модели многоформатной торговли. Одной из задач, которые следует решить для достижения поставленной цели, является «разработка региональных программ содействия развитию торговли, основанных на исследованиях реальных и прогнозируемых потребностей субъектов Российской Федерации и муниципальных образований в объектах торговой инфраструктуры» [3]. С целью оптимального, равномерного и пропорционального развития торговой инфраструктуры на всей территории Российской Федерации во всех субъ-

ектах должны быть разработаны региональные программы содействия развитию торговли, в частности программы по созданию и совершенствованию логистической инфраструктуры региона [3].

Таким образом, разработка модели формирования логистической инфраструктуры на территории субъектов Российской Федерации является актуальной задачей, решение которой позволит создать условия для реализации проектов «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года» и «Стратегия развития торговли в Российской Федерации на 2015–2016 годы и период до 2020 года».

Основными составляющими логистической системы являются транспортная и складская инфраструктура, оптовые и розничные торговые организации и т.д. [4]. В работах [5–7] предложены модели построения региональной сети распределительно-подсортировочных складов и сети автотранспортных парков.

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

Модель формирования региональной складской сети, представленная в работах [5, 6], предназначена для определения оптимальных месторасположений распределительно-подсортировочных складов, их мощности и типов товароносителей. Формально модель описывает задачу минимизации общих затрат Z , связанных с содержанием складов, грузопереработкой и транспортировкой товаров [6]. В целевой функции модели $Z = z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5$ представлены:

z_1 – суммарные приведенные затраты, связанные с размещением в указанном пункте распределительно-подсортировочного склада установленной мощности;

z_2 – суммарные затраты, связанные с грузопереработкой гетерогенных товаров на распределительно-подсортировочных складах установленной мощности;

z_3 – суммарные транспортные затраты по доставке гетерогенных товаров с распределительно-подсортировочных складов в розничную торговую сеть;

z_4 – суммарные транспортные затраты по доставке гетерогенных товаров со складов производственных компаний на распределительно-подсортировочные склады;

z_5 – суммарные транспортные затраты по доставке гетерогенных товаров от поставщиков на распределительно-подсортировочные склады.

Ограничения в данной модели следующие:

- выбор товароносителей можно осуществлять только из заданного набора;
- мощности распределительно-подсортировочных складов могут принимать значения только из заданного набора;
- объемы товаров, ввозимых на склад, не должны превышать его мощности, а потребность клиентов в товаре должна быть полностью удовлетворена;
- объем товаров, вывозимых со складов производителей и поставщиков, не должен превышать мощности производства и объема запасов, хранящихся на складах, соответственно.

В работе [7] предложена модель формирования сети автотранспортных парков на территории субъекта Российской Федерации. Она построена с целью минимизации затрат Z , связанных с функционированием автомобильного парка, сети распределительно-подсортировочных складов и грузопереработкой [7]. В целевой функции модели $Z = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$



Возможность использования метода сепарабельного программирования обусловлена тем, что все функции в записи исходной задачи и в записи НР-задачи сепарабельны.

учтены:

F_1 – приведенные затраты, связанные с размещением сети автотранспортных парков;

F_2 – суммарные затраты, связанные с перевозкой грузов;

F_3 – суммарные затраты на перегон порожнего транспорта;

F_4 – затраты, связанные с грузопереработкой товаров на распределительно-подсортировочных складах и распределительных центрах.

Минимизация функции затрат должна проводиться при соблюдении следующих условий:

- выбор товароносителей можно осуществлять только из заданного набора в зависимости от товара;
- потребность каждого магазина розничной торговли в товарах должна быть полностью удовлетворена;
- объем продукции, вывозимой с каждого производственного предприятия, не должен превосходить объем его производства;
- объемы поставок товаров на склады и со складов магазинам розничной торговли должны быть неотрицательными.

Предложенные модели формирования элементов региональной логистической инфраструктуры [5–7] схожи между собой с формальной точки зрения. В этих моделях все функции (входящие в состав как целевой функции, так и системы ограничений) сепарабельны. Поиск оптимального решения поставленных задач осложняют дополнительные условия, которые не позволяют решить их точно за разумное время:

некоторые функции являются нелинейными (например, функции z_1, z_2, F_1);

- на некоторые переменные наложено требование целочисленности (переменные, определяющие количество используемых единиц автотранспорта каждого вида и количество складов);
- некоторые переменные могут принимать значения только из дискретного множества (переменные, связанные с видом товароносителя, с мощностью складов).

Опишем подход, который можно использовать для численного решения

задач оптимизации складской и автотранспортной инфраструктур, представленных в указанных выше моделях. Дальнейшие рассуждения касаются как первой, так и второй модели (задачи оптимизации).

В силу высокой размерности задачи, наличия нелинейных функций, а также ограничений, связанных с принадлежностью переменных к дискретному множеству, будем использовать приближенный подход, т.е. искать приближенное решение задачи.

Для нахождения приближенного решения задачи на первоначальном этапе откажемся от требования целочисленности (дискретности) переменных. В результате получим непрерывную релаксацию (НР-задачу) исходной задачи. Далее в качестве приближенного решения исходной задачи примем приближенно оптимальное решение НР-задачи. Если это решение не удовлетворяет требованиям по качеству, выполним декомпозицию НР-задачи. Каждую из полученных задач будем решать отдельно (возможно, с последующей декомпозицией) до тех пор, пока не будет получено приемлемое по качеству решение. Подход к решению базируется на методах ветвей и границ [8] и сепарабельного программирования [9].

Возможность использования метода сепарабельного программирования обусловлена тем, что все функции в записи исходной задачи и в записи НР-задачи сепарабельны. Для использования метода прежде всего выполним линеаризацию НР-задачи.

При линеаризации НР-задачи каждая из нелинейных функций $f(z_1 \text{ и } z_2 \text{ в первой модели, } F_1 \text{ во второй модели})$ заменяется ее кусочно-линейной аппроксимацией.

Выберем в качестве примера функцию $f(x)$. Из условий задачи нетрудно определить границы переменной x : $x \in [c_1, c_2]$. Кусочно-линейная аппроксимация функции $f(x)$, $x \in [c_1, c_2]$ выполняется следующим образом. Отрезок $[c_1, c_2]$ разбивается точками $c_1 = x_0, x_1, \dots, x^k, x^{(k+1)}, \dots, x^r = c_2$. Кусочно-линейная функция $g(x)$, состоящая из от-

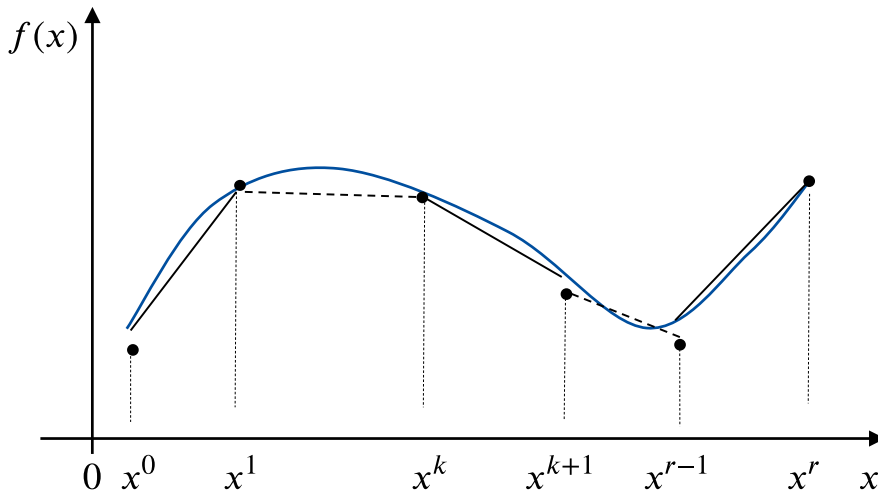


Рисунок 1. Кусочно-линейная аппроксимация функции $f(x)$

резков, соединяющих точки $(x^0, f(x^0)), (x^1, f(x^1)), \dots, (x^k, f(x^k)), (x^{k+1}, f(x^{k+1})), \dots, (x^r, f(x^r))$ (узловые точки сетки), дает кусочно-линейную аппроксимацию функции $f(x)$ (рис. 1). Аналитическое представление функции $g(x)$ имеет вид:

$$g(x) = \sum_{k=0}^r \lambda^k f(x^k), \quad (1)$$

$$x = \sum_{k=0}^r \lambda^k x^k, \quad (2)$$

где $\lambda^0, \lambda^1, \dots, \lambda^r$ – специальные переменные, удовлетворяющие условиям:

$$\sum_{k=0}^r \lambda^k = 1, \quad \lambda^k \geq 0, \quad k = \overline{0, r}, \quad (3)$$

причем не более двух соседних λ^k отличны от нуля.

Правая часть выражения (1) приближенно представляет функцию $f(x)$, а условия (2), (3) можно рассматривать как дополнительные ограничения.

Таким образом, исходная НР-задача заменяется приближенной задачей линейного программирования.

Используем для решения полученной задачи специальный вариант симплекс-метода [9]. В результате находим экстремальные значения искомым переменных исходной НР-задачи. При удовлетворении полученных значений заданным условиям можно говорить о решении поставленной задачи. В противном случае для решения необходимо применить схему метода ветвей и границ. Разбиение (ветвление) НР-задачи выполняется по переменной, для которой нарушено связанное с ней условие дискретности. Заметим, что в дополнение к стандартной схеме ветвей и границ здесь необходимо лишь каждый раз выполнять линейаризацию полученных при ветвлении НР-задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Концепция долгосрочного социально-экономического развития

Российской Федерации на период до 2020 года. Электронный ресурс: http://economy.gov.ru/mines/activity/sections/strategicplanning/concept/doc20081117_01.

2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. Электронный ресурс: http://www.mintrans.ru/activity/detail.php?SECTION_ID=2203#.
3. Стратегия развития торговли в Российской Федерации на 2015–2016 годы и период до 2020 года. Электронный ресурс: <http://base.garant.ru/70836814/#friends>.
4. Попов П.В., Мирецкий И.Ю. Влияние социально-экономических показателей на формирование складской инфраструктуры регионов // Вестник МГСУ. – 2017. – Т.12. – Вып. 2 (101). – С. 222–229.
5. Попов П.В., Мирецкий И.Ю., Ивуть Р.Б., Лапковская П.И. Модель формирования складской инфраструктуры регионов // Новости науки и технологий. – 2016. – № 2 (37). – С. 24–28.
6. Попов П.В., Мирецкий И.Ю. Моделирование складской инфраструктуры регионов Российской Федерации // Логистика. – 2015. – № 6 (103). – С. 24–27.
7. Ивуть Р.Б., Попов П.В., Мирецкий И.Ю. Проектирование сети автотранспортных парков // Наука и техника. – 2016. – Т.15. – № 5. – С. 442–446.
8. Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 240 с.
9. Miller C.E. The simplex method for local separable programming // Recent Advances in Mathematical Programming. Eds. R.L Graves and P. Wolfe. McGraw-Hill. – New York, 1963. – P. 89–100.



Источник: <http://www.invest-in-voronezh.ru/ru/investicijnyie-ploshhadki/industrialnyie-parki/maslovskij/rezidentyi/ooo-park-a>