

## МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ТЕОРИИ ГРАФОВ В ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

© 2020 Е.В. Швецова\*

Использование различных моделей в логистической деятельности обусловлено тем, что основные задачи логистики в целом связаны с оптимизацией. Рассматривая проблематику логистических процессов в целом, возникает множество вопросов, связанных с построением оптимальных маршрутов, с оптимизацией времени заказов, с анализом потоковых процессов различной природы. Целью исследования является выделение и обобщение методов теории графов и сетевого моделирования с возможностью использования их в различных логистических процессах. Методы исследования, используемые в данной статье, включают теоретический аспект. Это знаковое моделирование, которое содержит формулы, графики, с помощью которых описываются логистические процессы. Это анализ и синтез, что связано с системным подходом к изучению любых функциональных областей логистики. Это и обобщение полученных результатов с целью распространения на другие области логистики. Обобщение базируется на методах синтеза и анализа. Нельзя не упомянуть математическое моделирование, как основу теории графов и сетевого моделирования. В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что многие аспекты, понятия, методы теории графов и сетевого моделирования могут применяться практически во всех функциональных областях логистики. В данной связи использование соответствующих методов и моделирования может помочь ответить на многие вопросы, связанные с логистической деятельностью.

**Ключевые слова:** логистика, потоковые процессы, теория графов, сетевое моделирование, оптимизация, маршрутизация, транспортировка, закупки, информационные потоки.

### **Основные положения:**

- ◆ выделены основные аспекты теории графов и сетевого моделирования для использования в логистических процессах;
- ◆ обобщены механизмы оптимизации логистических процессов с применением теории графов и сетевого моделирования;
- ◆ предложены рекомендации по управлению автомобильным потоком на примере городской сети.

### **Введение**

На современном этапе логистика приобретает все большее значение в деятельности компаний в различных отраслях. Логистические услуги и логистическая составляющая стали неотъемлемой частью любой деятельности. Исследования в этом направлении приобретают все большую значимость. Это связано с тем, что основная цель логистики - оптимизация - напрямую связана и с увеличением прибыли, и с уменьшением запасов, и с минимизацией затрат.

Многие транспортные компании сталкиваются с проблемой холостых пробегов. Это объясняется тем, что недостаточно уделяется внимания моделированию маршрутов, построению оптимальных кольцевых маршрутов с исключением холостых пробегов. Так-

же нельзя не сказать о выборе и построении кратчайших расстояний между различными пунктами. Помимо того, что необходимо разработать оптимальный маршрут по длительности, необходимо также учесть вопросы с загрузкой транспортных средств. К сожалению, ни одно приложение, существующее на сегодняшний день для определения маршрута, не учитывает качества дорог, пробки и другие моменты. Следовательно, эти проблемы могут решаться внутри транспортных компаний.

Большие проблемы стоят с пропускной способностью тех или иных магистралей в целом, и в частности с пропускной способностью проезжей части в крупных городах.

При рассмотрении информационной составляющей любой деятельности движение

\* Швецова Елена Владиславовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры маркетинга, логистики и рекламы Самарского государственного экономического университета. E-mail: shvetsova.e@mail.ru.

и оптимизация информационных потоков может являться объектом применения сетевого моделирования и теории графов.

Неоднократно поднимался вопрос о минимизации времени выполнения логистических операций, об эффективном распределении сотрудников в соответствии с поставленными целями предприятия.

Во многих работах рассматриваются вопросы сетевого моделирования. Но это в основном, как говорят авторы, приложения в строительстве, реконструкции различных объектов, выполнение научно-исследовательских и конструкторских работ<sup>1</sup>.

Можно выделить направления исследований, связанных с инвестированием<sup>2</sup>, планированием бизнес-процессов<sup>3</sup>. Многие публикации связаны именно с бизнес-планированием и сетевым моделированием в этом направлении<sup>4</sup>.

Исследования потоковых процессов в общем и с привязкой к логистике в частности практически отсутствуют.

В статье рассмотрены основные положения теории графов и сетевого моделирования, которые помогут решить многие вопросы при организации логистических процессов по различным направлениям.

### **Методы**

В исследовании используется знаковое моделирование с применением формул, рисунков, которые позволяют описать логистические процессы.

Логистика предполагает системный подход к решению любых проблем, в связи с этим необходим анализ и синтез для изучения проблем в организации логистических процессов. Для распространения результатов исследования на другие функциональные области логистики используется метод обобщения.

В целом теория графов и сетевое моделирование относятся к методам математического моделирования. Именно математическому моделированию уделяется основная роль в данном исследовании.

### **Результаты**

Любые логистические процессы связаны с решением задач поиска поставщиков, покупателей, с выбором маршрутов доставки про-

дукции, с оптимальным маршрутом покупателей в торговых залах, если говорить о внутримаргазинной логистике, с расстановкой оборудования на складах с целью более эффективной работы персонала на складе. Всевозможных проблем в логистической деятельности достаточно много. Объектом управления в логистике выступают, как известно, потоки и потоковые процессы. К потокам можно отнести и людские потоки, и финансы, и информацию, и транспорт, и т.д. Оптимальным подходом к анализу любых видов потоков является использование теории графов и сетевого моделирования.

Как правило, в последнее время, да и ранее, исследования различных потоковых процессов проводились и проводятся в физике, кибернетике и подобных направлениях. Не так давно, в 2015, 2016 гг., появились статьи с описанием применения сетевого моделирования в части процессов управления инвестиционным проектированием, бизнес-планированием. Эти разработки принадлежат Уральскому государственному экономическому университету и Уральскому федеральному университету имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.

В части потоковых процессов в целом, логистика как сфера деятельности и как научное направление обделена вниманием. Хотелось бы остановиться на обобщении методов графов и сетевого моделирования для описания, анализа и оптимизации именно потоковых процессов в логистике.

Сетевое представление в логистике можно отнести к различным функциональным областям. Железнодорожные пути сообщения, которые соединяют грузовладельцев, по которым перемещается поток пассажиров. Автомобильные трассы, связывающие пункты погрузки-разгрузки, распределительные центры, склады оптовиков и другие звенья логистической цепи. Это же представление можно отнести к воздушному транспорту, нефте- и газопроводам. Это направление транспортной логистики.

Если в качестве сети рассматривать розничные торговые предприятия, то в масштабах торговой площади - внутримаргазинная логистика - это сетевое планирование покупательского потока, расстановка оборудования. Если же рассматривать розничные тор-

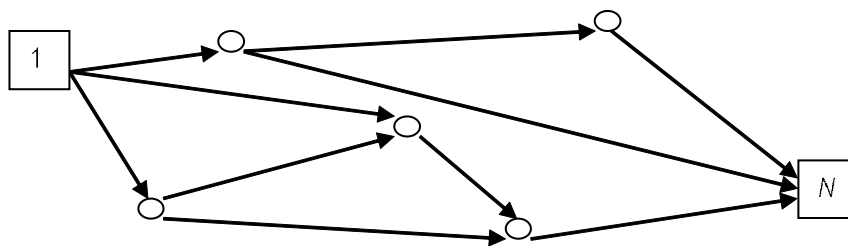


Рис. 1. Пример сети дорог с указанием пунктов и путей следования

говые сети, то это обеспечение заявок на поставку грузов, сеть между распределительными центрами и торговыми точками.

Таким же образом можно выделить сетевое представление складов, внутрискладское пространство, поток информации в любой сфере деятельности на макро- и микроуровнях, финансовые потоки, которые сопровождают любую операцию в логистике.

Применительно к информационной логистике теория графов и сетевое моделирование используются для анализа движения информационных потоков. Целью данного анализа является, в первую очередь, отказ от дублирующей информации. Также можно решать задачи, связанные с оптимальной проходимость информации по времени, с оптимизацией содержательной составляющей информации и т.д.

Однако нельзя объять необъятное. Поэтому более подробно остановимся на некоторых аспектах использования теории графов и сетевого моделирования в логистических процессах.

При рассмотрении, например, сети автомобильных дорог, чтобы провести анализ и оценить различные параметры, которые характеризуют условия поведения потоков транспортных средств, необходимо циркуля-

цию и взаимодействие потоков представить в виде графа (рис. 1).

На сетевых графиках могут выставляться количественные показатели, которые будут определять расстояние, тарифы и другие значения, которые подлежат анализу и оптимизации.

Любой поток в сети можно представить в виде функции  $f(i, j)$ , которая определяет поток от пункта  $i$  к пункту  $j$ , и следовательно, будет неотрицательна на всем множестве определения. Каждый путь следования в теории графов - это дуга, соединяющая некоторые пункты. Для каждой дуги, соответственно, существует пропускная способность  $p(i, j)$ . Следовательно, для функции  $f(i, j)$ , которая описывает поток, должны выполняться условия:

- ♦ при существовании пропускной способности величина потока по этому участку пути не должна превышать значения, определяющего пропускную способность, т.е.  $0 < f(i, j) < p(i, j)$ ;

- ♦ для организации слаженного движения потока любой природы необходимо таким образом спланировать потокодвижение, чтобы величина функции для входа в некоторую вершину сети совпала с функцией выхода из этой вершины сети, т.е.  $f(i, k) = f(k, n)$  (рис. 2).

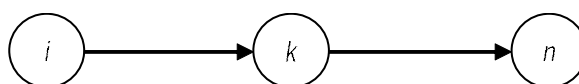


Рис. 2. Участок сети (вариант 1)

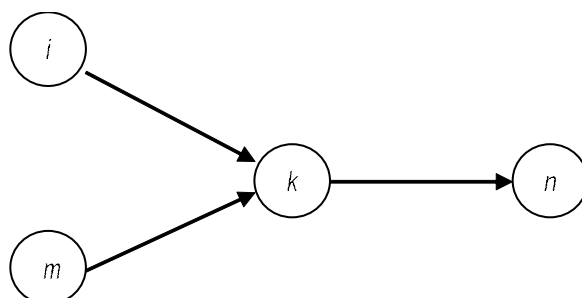


Рис. 3. Участок сети (вариант 2)

В данном условии может быть следующий вариант (рис. 3).

В этом случае условие для функции, описывающей поток, примет вид:  $f(i, k) + f(m, k) = f(k, n)$ .

В любой сети поток не накапливается и не исчезает, величина потока складывается из значений потоков, находящихся в данной сети.

Какие бы сети ни рассматривались в логистике, все они ограничены по пропускной способности. Возникает задача по определению максимального потока с учетом различных ограничений по пропускной способности.

Городские дороги, магистрали между городами можно представить в виде графов. Анализ сетей с целью определения максимального потока можно начать с выделения источника, т.е. узла входа, и стока, т.е. узла выхода. С точки зрения логистики выделяем сетевую систему с входом и выходом и потоком, который подвергается анализу и оптимизации. Как уже отмечалось, поток может иметь любую природу и рассматриваться в различных функциональных областях логистики.

При рассмотрении любой сетевой системы определение максимального потока необходимо проводить в следующей последовательности:

1) по любому пути от входа к выходу определяют функцию  $f(i, j)$ , отличную от нуля, т.е. путь, который имеет ненулевую мощность;

2) для любых  $i, j$  определяют  $\min f(i, j)$  и на эту величину увеличивают поток, проходящий через эту сеть;

3) на выбранном пути по всем участкам в направлении потока необходимо сократить мощности потоков на  $\min f(i, j)$ , на участках пути в обратном направлении - увеличить поток на  $\min f(i, j)$ ;

4) рассматривая все пути от входа до выхода сетевой модели, продолжают определять  $\min f(i, j)$  до тех пор, пока по каждому пути не будет выполняться условие  $\min f(i, j) = 0$ . Таким образом можно определить максимальный поток через любую сеть;

5) определив максимальный поток через сетевую систему, можно рассчитать направление и величину потока по каждому участку сети. Для этого находят разницу между мощностью потока в заданной изначально систе-

ме и полученной мощностью. Если значение разности - положительное число, поток направляется от входа к выходу в сетевой модели. Если значение разности - отрицательное число, следует движение потока перенаправить в обратную сторону между данными пунктами.

Таким образом, можно регулировать движение на перекрестках, определять временные параметры светофоров, выделять участки для одностороннего движения.

### **Обсуждение**

Сетевые модели наиболее эффективны по причине визуализации многих процессов. В логистике большое количество задач, которые связаны с движением потоков любой природы - материальный, информационный, финансовый и т.д. Нельзя не обратить внимание на связующий транспорт, который присутствует в любом звене логистической цепи. Можно рассматривать транспорт общего пользования в контексте сетевой модели, можно рассматривать внутривыпускной транспорт в контексте производства или складской деятельности. Логическая последовательность, визуальное представление сетевых моделей позволяет более естественно представить ситуацию, сделать анализ и с успехом провести оптимизацию в соответствии с выбранной целью<sup>5</sup>.

На сегодняшний день методами и моделями теории графов решается почти 15% от общего объема задач, использующих общие математические методы.

### **Заключение**

Рассматривая системный подход в любых исследованиях в логистике, можно определить методы и модели для оптимизации потоковых процессов. В данном исследовании еще раз подчеркивается необходимость применения теории графов и вытекающего из этой теории сетевого моделирования, которое позволяет наглядно разработать сетевые системы, осуществить анализ потоков в этих системах и при необходимости провести оптимизацию ключевых для этой системы параметров. Разработанный алгоритм по определению максимального потока в сети любой природы может использоваться во многих функциональных областях логистики.

<sup>1</sup> Гельфанова Д.Д., Сухтаева А.М. Принятие управленческих решений с помощью метода сетевого планирования // Современный менеджмент и управление: тенденции и перспективы развития : сб. науч. тр. / под общ. ред. М.Н. Стефаненко. Уфа, 2019. С. 171-176.

<sup>2</sup> Буценко Е.В., Шориков А.Ф. Сетевое моделирование процесса управления инвестиционным проектированием и его приложения // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2015. № 6 (233). С. 233-244.

<sup>3</sup> Буценко Е.В., Шориков А.Ф. Реализация сетевого экономико-математического моделирования для процесса бизнес-планирования // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. 2015. Т. 14, № 6. С. 935-953.

<sup>4</sup> Шориков А.Ф., Буценко Е.В. Сетевое моделирование оптимизации процессов инвестиционного проектирования при наличии нескольких технологий // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. 2016. Т. 15, № 6. С. 926-943.

<sup>5</sup> Карпова Н.П., Швецова Е.В., Юдакова О.В. Сетевое моделирование в логистике // Проблемы развития предприятий: теория и практика. 2018. № 2. С. 145-148.

*Поступила в редакцию 06.07.2020 г.*

## METHODS AND MODELS OF GRAPH THEORY IN LOGISTICS PROCESSES

© 2020 E.V. Shvetsova\*

The use of different models in logistics activities is due to the fact that the main tasks of logistics in general are related to optimization. Analyzing the problematics of logistics processes in general, there are many questions related to the construction of optimal routes, optimization of order time, and analysis of flow processes of various nature. The purpose of the study is to identify and generalize methods of graph theory and network modeling with the possibility of using them in various logistics processes. The research methods used in this article include a theoretical aspect. This is a sign simulation that contains formulas and graphs that describe logistics processes. These are analysis and synthesis, which are associated with a systematic approach to the study of any functional areas of logistics. This is also a generalization of the obtained results in order to extend it to other areas of logistics. The generalization is based on the methods of synthesis and analysis. We should mention mathematical modeling as the basis of graph theory and network modeling. As a result of the research, we can conclude that many aspects, concepts, methods of graph theory and network modeling can be applied in almost all functional areas of logistics. In this regard, the use of appropriate methods and modeling can help in answering many questions related to logistics activities.

**Keywords:** logistics, flow processes, graph theory, network modeling, optimization, routing, transportation, procurements, information flows.

### **Highlights:**

- ◆ the main aspects of graph theory and network modeling for use in logistics processes are highlighted;
- ◆ mechanisms for optimizing logistics processes using graph theory and network modeling are generalized;
- ◆ recommendations for managing traffic flow on the example of a city network are offered.

\* Elena V. Shvetsova, Candidate of Economics, Associate Professor of the Marketing, Logistics and Advertising Department at Samara State University of Economics. E-mail: shvetsova.e@mail.ru.

*Received for publication on 06.07.2020*