

Шарапиева М.Д.

**Модели и методы  
в транспортной логистике:  
современное состояние  
и перспективы**

В статье рассматриваются модели и методы, используемые для анализа логистических процессов, как транспортировка, которая является ключевой логистической функцией, связанной с перемещением материальных ресурсов, незавершенного производства, готовой продукции в транспортных средствах по определенной технологии. Транспортировка, помимо перемещения грузов, включает такие логистические операции, как экспедирование, грузопереработка, упаковка, таможенные процедуры, страхование рисков. Статья начинается с анализа простейших моделей, сводимых к транспортной задаче. Модели оптимизации производства однородной продукции с учетом грузопотоков при условии линейной зависимости показателей эффективности плана от объемов производства и перевозок могут строиться на основе открытой транспортной задачи линейного программирования. Далее рассматриваются производственные и производственно-транспортные модели в «дискретной» и «непрерывной» постановке. В статье рассматриваются дискретные производственные модели и их описание в виде альтернативных вариантов развития производственных объектов, из множества которых требуется выделить оптимальный набор, удовлетворяющий заданным ограничениям.

**Ключевые слова:** модели, методы, маршрут, модификации, концепция «точно вовремя», издержки, методика.

Sharapiyeva M.D.

**Models and methods in transport  
logistics: status and prospects**

The article deals methods of the model used for the analysis of logistics processes. Such as transportation, which is a key function of the logistics associated with the movement of material resources, work in process, finished goods in vehicles on a particular technology. Transportation, in addition to the movement of goods, including logistics operations such as forwarding, materials handling, packaging, customs clearance, insurance risks. The article begins with an analysis of the simplest models, reducible to the transportation problem. Optimization models of homogeneous production in view of cargo flows on condition of linear dependence of the performance plan of production and transport can be based on open transport problem of linear programming. Further considers manufacturing, production, and transport patterns in «discrete and continuous» setting. Input a word in the article discrete manufacturing model and a description of how the economic process in the form of alternative options for the development of production facilities, from the set that you want to select the best set that satisfies the given constraints.

**Key words:** models, methods, route, modification, the concept of «just in time», the cost method.

Шарапиева М.Д.

**Көлік логистикасындағы  
модельдер мен әдістер: қазіргі  
жағдайы және мүмкіншіліктері**

Мақалада логистикалық үдерістерді талдауға арналған модельдер мен әдістер қарастырылады. Үдеріс ретінде материалды құндылықтарды, аяқталмаған өндіріс және дайын өнімді тасымалдау, яғни белгілі бір технология бойынша орын ауыстыруымен байланысты логистиканың маңызды функциясы болып табылады. Тасымалдау, жүктерді тасумен қатар экспедициялау, жүкті өңдеу, сыртқы орам, кедендік процедуралар, тәуекелдерді сақтандыру сияқты тағы басқа логистикалық операцияларды қамтиды. Мақала көліктік логистикада қолданылатын қарапайым модельдерді талдаудан басталады. Біртекті тауарларды өндіруді оңтайландыру модельдері тиімділіктің сызықтық байланыс шартында өндірістік және көліктік есептер ашық сызықтық бағдарламалау көмегімен жүзеге асырылады. Содан кейін өндірістік және өндірістік-көліктік модельдер «дискреттік», «үздіксіздік» қойылымда қарастырылады. Мақалада дискреттік өндірістік модельдер экономикалық үдерістерді сипаттау түрінде, өндірістік нысандардың баламалы даму нұсқасын және көптің арасынан берілген шектеулерді қанағаттандыратын оңтайлы жиынтығы қарастырылады.

**Түйін сөздер:** модельдер, әдістер, бағыт, модификация, «дәл мерзімінде» қағидасы, шығындар, әдістеме.

**МОДЕЛИ И МЕТОДЫ  
В ТРАНСПОРТНОЙ  
ЛОГИСТИКЕ:  
СОВРЕМЕННОЕ  
СОСТОЯНИЕ И  
ПЕРСПЕКТИВЫ****Введение**

Совместное планирование производственного, транспортного и складского процессов; выбор рационального способа транспортировки грузов (униmodalной, мультимodalной, интерmodalной и т. п.); выбор вида (видов) транспорта; выбор транспортных средств; выбор логистических посредников в транспортировке (перевозчиков, экспедиторов, агентов, терминалов и т. п.); определение рациональных маршрутов; распределение транспортных средств по маршрутам; оценка качества транспортного сервиса; определение логистических издержек, связанных с транспортировкой; обеспечение технической и технологической сопряженности участников транспортного процесса, согласования их экономических интересов, распределения рисков и ответственности. Решение поставленных задач требует наличия развитого методологического обеспечения. Между тем, модели и методы управления материальными (транспортными) потоками, представленные в научных публикациях по теории транспорта и логистики (табл. 1), характеризуются разрозненностью, незавершенностью, неполнотой, отсутствием глубоких прикладных разработок. Существующий на данный момент аналитический аппарат, используемый при оптимизации издержек в транспортно-логистических системах, требует существенной доработки и проведения дальнейших исследований.

**Экспериментальная часть**

Изучение доступных научных публикаций по теории логистики и экономики транспорта (например, [2, 6, 8 и др.]) показал, что значительная часть представленных в них моделей строится на классической транспортной задаче, представляет собой ее частные случаи или различные модификации. Анализ представленных в литературе транспортных, производственно-транспортных и производственно-транспортно-складских моделей позволяет сделать следующие выводы: 1. Наблюдается устойчивая тенденция роста числа показателей и числа переменных по мере учета в модели (целевой функции) все большего количества

звеньев логистической сети (канала). Например, приводимые в литературе обобщенная модель планирования полигона контейнерного обслуживания (1) и общая модель функционирования логистической транспортной системы (ЛТС) на

рассматриваемом полигоне (2) ([4] и [14] соответственно) содержат большое количество вариантов расчета, принятие решения на основании которых требует разработки специальной методики многокритериальной оценки.

Таблица 1 – Модели и методы теории логистики, используемые при управлении транспортировкой в цепях поставок

Модели и методы теории логистики	Источник
Модель многоэтапной транспортной задачи, методы математического программирования	Постан М.Я. [9], Николайчук В.Е. [7]
Модель производственно-транспортной задачи	Сергеев В.И. [5, 10], Уваров С.А. [13]
Модели производственно-транспортно-складских задач	Нагловский С.Н. [6], Кириченко А.В. [8]
Модели взаимодействия транспортных потоков в перевалочных пунктах, методы теории массового обслуживания	Постан М.Я. [9]
Методика исследования функционирования перевалочных пунктов, метод имитационного моделирования	Миротин Л.Б. [4, 12]
Методика синтеза интегрированной системы доставки грузов на основе морфологического метода	

### Результаты и обсуждение

Основа всех моделей – классическая транспортная задача и ее модификации. Поскольку в настоящее время разработано достаточно много методов решения данной задачи (и соответствующих алгоритмов для ПК), то предполагается, что для каждой модели могут быть определены оптимальные варианты решения. К сожалению, ни в одной из рассмотренных работ по логистике не приведены ни исходные данные, ни примеры решения даже условных задач. 3. Несмотря на наличие в моделях (1, 2) временных параметров, они являются статистическими, а не динамическими, что снижает ценность предложенных моделей. Речь идет о том, что они не учитывают возможность изменения во времени запасов вывозимых грузов, случайных колебаний времени перевозки и погрузки/выгрузки ТС, колебаний рыночного спроса на услуги транспорта и т.д. Помимо этого, известная логистическая концепция «точно вовремя», отражающая основные свойства логистических функциональных циклов, не нашла применения во всех рассмотренных подходах. 4. Во всех рассмотренных моделях отсутствуют подходы, учитывающие логистические методы и алгоритмы, обеспечивающие интеграцию (а не простое суммирование) логистических целей, такие как методы расчета оптимальной величины заказа при многоуровневых поставках в многоуровневых распре-

делительных системах. 5. Приводимые модели и методы не учитывают особенности управления транспортными потоками в цепях поставок, поскольку логистический подход предусматривает оптимизацию не только транспортной, но и складской составляющей затрат, а также затрат, связанных с организацией взаимодействия транспортных потоков в перевалочных пунктах на основе использования моделей с прямым, складским и смешанным вариантами взаимодействия. Кроме того, в современной научной литературе по логистике следует отметить попытки формирования динамических моделей интермодальных систем. Решаемые с помощью методов теории массового обслуживания, они, как правило, отличаются большой размерностью, сложны для расчетов, наиболее общие из них не имеют исчерпывающих аналитических решений. Под простейшими транспортно-производственными моделями будем понимать такие, которые по своему содержанию не являются задачами только по оптимизации схем прикрепления потребителей к поставщикам, но которые из-за наличия особенностей математической постановки могут быть сведены к математическим транспортным задачам и не требуют для поиска оптимальных решений универсальных методов линейного программирования.

В транспортных задачах часто используется термин «пункт производства», хотя собственно производство никаким образом не рассматрива-

ется, так как в явном виде не учитываются производственные затраты, а пункты вывоза продукции логичнее было бы называть складами, на которых хранится уже произведенная продукция и которую требуется доставить потребителям с минимальными суммарными издержками на перевозки.

Перейдем теперь к моделям, в которых в явном виде отражаются производственные затраты и в которых определяются не только схемы прикрепления потребителей к поставщикам, но и производственные планы.

$$x_i - \sum_{i-1}^n x_{ij} \geq 0; i = 1, m \quad (1)$$

$$\sum_{i-1}^n x_{ij} \geq b_j, j = 1, n \quad (2)$$

$$x_i \leq a_i; i = 1, m \quad (3.1)$$

$$x_{ij} \geq 0; \forall i, j \quad (3.2)$$

$$\sum_{i-1}^m c_i x_i + \sum_{i-1}^m \sum_{j-1}^n s_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (4)$$

Здесь  $x_i$  – искомый объем производства в пункте  $i$ ;

$c_i$  – удельные производственные затраты в пункте  $i$ ;

$a_i$  – максимально возможный объем выпуска продукции в пункте  $i$ . Смысл остальных переменных и параметров остается таким же, как и в модели 1. – 4.

Если в ограничениях 7. изменить знаки на противоположные, то полученная задача будет удовлетворять формальному определению математической транспортной задачи: каждая переменная входит только в два ограничения, причем в одно с коэффициентом «+1», в другое с коэффициентом «-1». Но это будет задачей в сетевой постановке, которая также может быть решена методом потенциалов, но процедура решения существенно более трудоемка при ручном счете, неудобна такая постановка и для машинной реализации.

Возможно ли свести задачу 5. – 9. к задаче шахматного типа? Очевидно (это легко доказать от противного), что при положительных значениях всех параметров затрат ограничения 5. на оптимальном плане всегда выполняются как равенства. Поэтому можно в них знак  $\geq$  заменить на  $=$ , и при этом оптимальное решение не изменится. Далее ограничения 5. можно использовать для замены переменных

$$x_i = \sum_{j-1}^n x_{ij} \quad (5)$$

и подстановки в ограничения 7:

$$\sum_{j-1}^n x_{ij} \leq a_i; i = 1, m \quad (6)$$

и в целевую функцию, которая примет вид:

$$\sum_{i-1}^m \sum_{j-1}^n (c_i + s_{ij}) x_{ij} \rightarrow \min \quad (7)$$

Полученная после таких простых преобразований модель идентична задаче 1. – 4. с тем лишь отличием, что в коэффициентах целевой функции стоят суммарные удельные производственные и транспортные затраты. Подобные подходы требуют дальнейших исследований, но в перспективе могут быть использованы в качестве методической основы для создания программного обеспечения, позволяющего оптимально проектировать и управлять деятельностью перевалочных пунктов как ключевых звеньев логистической цепи доставки грузов. Формирование направлений дальнейшего развития комплекса моделей и методов управления интермодальными перевозками на основе логистического подхода, а также определение возможностей практической реализации разработанного аналитического инструментария предлагается осуществлять на основе разработанной классификации моделей, методов и алгоритмов, применяемых при управлении потоками в логистических системах разного уровня (от микро- до макроуровня) и характеризующихся различным уровнем проработки и использования логистических методов (табл. 2). Часть из представленных в табл. 2 методик и методов для управления материальными потоками являются разработками научного коллектива кафедры логистики и организации перевозок СПбГИЭУ. На основе систематизированных в табл. 2 моделей и методов разработан алгоритм принятия решений по их использованию. В первом блоке используются морфологический метод исследования и методы сетевого планирования и управления для решения задачи отбора наиболее рациональных вариантов организации перевозки с последующим выбором единственного оптимального; решаемые здесь задачи не предполагают оптимизации цепи поставок; второй и третий блоки охватывают подблоки, связанные с оптимизацией транспортно-логистической цепи поставок, и являются уточняющими по отношению к первому блоку.

**Таблица 2** – Классификация моделей и методов управления транспортными потоками в цепях поставок

Уровень логистической системы	Модели, методы, методики, алгоритмы	Решаемые задачи
1. макро-	1. Морфологический метод исследования	Выбор наиболее рациональных систем доставки грузов (выбор рационального способа транспортировки, видов транспорта, маршрута и способа поставки)
	2. Методика выбора оптимального варианта доставки груза при перевозках на дальние расстояния	Выбор оптимальной схемы доставки (оптимизация за счет использования складирования, консолидации отправок и оптимизации партии поставки)
1,2. макро- и мезо –	3. Модели сетевого планирования и управления	Выбор оптимальной системы доставки грузов (видов транспорта и состава логистических посредников)
2. мезо-	4. Методика выбора оптимального варианта доставки груза при перевозках на короткие расстояния	Выбор оптимальной схемы доставки (оптимизация за счет консолидации отправок, оптимизации партии отправки и маршрутизации)
3. микро-	5. Методы теории массового обслуживания, метод (статистического) имитационного моделирования	Оптимизация перевозочных и перевалочных процессов в пунктах перевалки (оптимизация технологических параметров перевалочных пунктов)

Задачи второго блока ориентированы на уточнение и оптимизацию маршрута доставки в перевалочном пункте по критерию времени, второй блок включает подблок «оптимизация технологических параметров пунктов перевалки», решение задач данного блока предполагает использование методов ТМО и метода имитационного моделирования для оптимизации перевозочных процессов в пунктах перевалки груза с одного вида транспорта на другой. Поиск более эффективных способов планирования сложных процессов привел к необходимости использования моделей сетевого планирования и управления (СПУ). СПУ основано на моделировании процесса с помощью сетевого графика (сетевой модели). Сетевая модель и её основные элементы.

*Сетевая модель* представляет план выполнения некоторого комплекса работ.

Главными элементами сетевого графика являются события и работа.

*Событие* – это завершение какого-либо процесса, отражающего отдельный этап выполнения проекта. На сетевом графике событие изображается кружком. Включает временные параметры сетевых графиков, коэффициенты

напряжённости работы, анализ и оптимизация сетевого графика.

В третьем блоке осуществляется уточнение и оптимизация схемы доставки по экономическому критерию (величине затрат на доставку грузов); при этом в третий блок входят все оставшиеся подблоки, в которых решаются задачи, связанные с выбором оптимального варианта организации перевозок при доставке грузов от поставщика за границу потребителю Казахстана, предусматривающие выбор транзитной или складской схемы доставки, а также связанные с выбором оптимального варианта перевозки при доставке груза со склада в Казахстане конечному потребителю; в данный блок входят методики выбора оптимального варианта доставки груза при перевозках как на дальние (международные перевозки), так и короткие расстояния (внутрирегиональные перевозки); оптимизация транспортно-логистической цепи поставок осуществляется в этом блоке за счет использования логистических методов и технологий, включающих использование логистической функции складирования, расчета партии поставки с помощью формулы Уилсона, консолидации отправок и маршрутизации.

#### Литература

- 1 Бенсон Д., Уайхед Дж. Транспорт и доставка грузов: пер. с англ. – М.: Транспорт, 1990. – 279 с.
- 2 Геронимус Б.Л., Цапфин Л.В. Экономико-математические методы в планировании на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1982. – 192 с.



- 3 Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими: пер. с англ. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
- 4 Интегрированная логистика накопительно-распределительных комплексов (склады, транспортные узлы, терминалы): учебник для транспортных вузов / под общ. ред. Л.Б. Миротина. – М.: Экзамен, 2003. – 448 с.
- 5 Логистика: учебник / под ред. В.И. Сергеева. – М.: Эксмо, 2008. – 944 с.
- 6 Нагловский С.Н. Экономика и надежность логистических контейнерных систем. – Ростов-н/Д: РГЭА, 1996. – 139 с.
- 7 Николайчук В.Е. Транспортно-складская логистика: учебное пособие. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2005. – 452 с.
- 8 Организация логистических систем для перевозки экспортно-импортных грузов / под ред. А.В. Кириченко. – СПб.: ИПО «Базис», 2001. – 306 с.
- 9 Постан М.Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок. – Одесса: Астропринт, 2006. – 376 с.
- 10 Сергеев В.И. Менеджмент в бизнес-логистике. – М.: Филинь, 1997. – 772 с.
- 11 Транспортировка в логистике: учебное пособие / В.С. Лукинский, В.В. Лукинский, И.А. Пластуняк, Н.Г. Плетнева. – СПб.: СПбГИЭУ, 2005. – 139 с.
- 12 Транспортная логистика: учебник / под общ. ред. Л.Б. Миротина. – М.: Экзамен, 2005. – 512 с.
- 13 Уваров С.А. Логистика: общая концепция, теория и практика. – СПб.: ИНВЕСТНП, 1996. – 211 с.
- 14 Цвиринок И.А. Методология, методы и модели управления логистическими бизнес-процессами. – СПб.: СПбГИЭУ, 2003. – 262 с.

### References

- 1 Benson D., Uajhed Dzh. Transport i dostavka gruzov: per. s angl. – М.: Транспорт, 1990. – 279 с.
- 2 Geronimus B.L., Capfin L.V. Jekonomiko-matematicheskie metody v planirovanii na avtomobil'nom transporte. – М.: Транспорт, 1982. – 192 с.
- 3 Drju D. Teorija transportnyh potokov i upravlenie imi: per. s angl. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
- 4 Integrirovannaja logistika nakopitel'no-raspre delitel'nyh kompleksov (sklady, transportnye uzly, terminaly): uchebnik dlja transportnyh vuzov / pod obshh. red. L.B. Mirotina. – М.: Jekzamen, 2003. – 448 с.
- 5 Logistika: uchebnik / pod red. V.I. Sergeeva. – М.: Jeksmo, 2008. – 944 с.
- 6 Naglovskij S.N. Jekonomika i nadezhnost' logisticheskijh kontejnernih sistem. – Rostov-n/D: RGJeA, 1996. – 139 с.
- 7 Nikolajchuk V.E. Transportno-skladskaja logistika: uchebnoe posobie. – М.: Izdatel'sko-torgovaja korporacija «Dashkov i Ko», 2005. – 452 с.
- 8 Organizacija logisticheskijh sistem dlja perevozki jeksporno-importnyh gruzov / pod red. A.V. Kirichenko. – SPb.: IPO «Bazis», 2001. – 306 с.
- 9 Postan M.Ja. Jekonomiko-matematicheskie modeli smeshannyh perevozok. – Odessa: Astroprint, 2006. – 376 с.
- 10 Sergeev V.I. Menedzhment v biznes-logistike. – М.: Filin#, 1997. – 772 с.
- 11 Transportirovka v logistike: uchebnoe posobie / V.S. Lukinskij, V.V. Lukinskij, I.A. Plastunjak, N.G. Pletneva. – SPb.: SPbGIJeU, 2005. – 139 с.
- 12 Transportnaja logistika: uchebnik / pod obshh. red. L.B. Mirotina. – М.: Jekzamen, 2005. – 512 с.
- 13 Uvarov S.A. Logistika: obshhaja koncepcija, teorija i praktika. – SPb.: INVESTNP, 1996. – 211 с.
- 14 Cvirin'ko I.A. Metodologija, metody i modeli upravlenija logisticheskimi biznes-processami. – SPb.: SPbGIJeU, 2003. – 262 с.