УДК 656.13:338.47; 656.13:658

О.Д.ЗАЙЦЕВА, *старший преподаватель*, (*812*) *328-89-39*
Б.Д.ПРУДОВСКИЙ, *канд. техн. наук, доцент*, (*812*) *328-89-39*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

O.D.ZAYTSEVA, *senior lecturer*, (*812*) *328-89-39*
B.D.PRUDOVSKIY, *Phd in eng. sc., associate professor*, (*812*) *328-89-39*
National Mineral Resources University (*Mining University*), *Saint Petersburg*

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ЗАДАННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

В статье приводится математическая формулировка актуальной транспортной задачи, решаемой распределительным методом, позволяющей оптимизировать работу логистического центра при организации перевозок в пределах транспортного коридора с учетом заданных ограничений. Решение поставленной задачи позволяет технически обосновать экономическую целесообразность осуществления перевозок и влияет не только на конкурентоспособность логистического центра на рынке оказания транспортных услуг, но и на качественные показатели транспортной отрасли в целом.

***Ключевые слова*:** логистический центр, транспортная задача, распределительный метод, качество транспортного обслуживания.

THE TASK OF DETECTION THE OPTIMAL SCHEME OF TRANSPORT KINDS' COORDINATION INTO LOGISTIC TRANSPORT SYSTEM WITH TAKING INTO ACCOUNT INPUT LIMITS

There is mathematical formulation of topical transportation problem which is solved by distributive method in the article. The proposition makes it possible to optimize the operation of logistic centre for traffic organization within transport corridor with take input limits into account. Solution of the task allows to give technical explanation of traffic execution's economic expediency and influence not only on logistic centre's competitiveness into transport market but also on qualitative indexes of transport field in tote.

***Key words*:** logistic centre, transportation problem, distributive method, quality of transport service.

В современных условиях развития транспортной отрасли остро стоит проблема повышения качества оказания транспортных услуг. Недобросовестность перевозчиков, неграмотность организаторов перевозок или же потребителей транспортной продукции зачастую приводит к негативным последствиям, сказывающимся на общем уровне качества обслуживания всей транспортной отрасли.

Во избежание проблем, связанных с качеством организации перевозки грузов, в том числе выбором наиболее подходящего способа доставки, необходимого типа подвижного состава и других параметров предстоящей перевозки, потребители транспорт-

ных услуг нередко обращаются в логистические компании, способные организовать полный цикл перевозки с соблюдением условий, заявленных клиентами. Наличие таких компаний на транспортном рынке позволяет владельцам грузов рационализировать процесс доставки, доверив его организацию специалистам в сфере перевозок.

Однако нередко даже квалифицированные специалисты в области организации перевозок не способны спроектировать транспортный процесс таким образом, чтобы его условия удовлетворяли всех участников. В первую очередь необходимо соблюсти интересы грузовладельцев или заказчиков логистических услуг: качество перевозки должно соответствовать предъявленным требованиям по выполнению объема перевозок, времени доставки, сохранности груза и др., а также учитывать интересы по минимизации вознаграждения, которое заказчики заплатят логистическому центру за организацию перевозки (последнее необходимо еще и для поддержания конкурентоспособности организаторов перевозок на рынке транспортных услуг). Но уменьшение величины вознаграждения противоречит собственной цели логистического центра – максимизации прибыли.

Таким образом, с экономической точки зрения задача логистического центра заключается в оптимальной организации доставки груза при минимизации затрат клиента и максимизации собственной прибыли, что возможно только за счет снижения собственных затрат на организацию перевозки (включающих полную оплату тарифов, установленных транспортными компаниями и другими звеньями транспортной сети, непосредственно участвующих в осуществлении перевозки). Решение этой задачи возможно при оптимальном распределении грузов (партий грузов) между перевозчиками (в том числе по видам транспорта и типам подвижного состава) на всех участках транспортной сети (если их более одного). То есть задача, преследуя экономические цели, решается на основании технических аспектов организации перевозок.

Рассмотрим описанную задачу на примере. Необходимо оптимизировать работу логистического центра по рационализации распределения заявленных клиентами перевозок (партий грузов) по типам подвижного состава автомобильного и других видов транспорта в пределах транспортного коридора по критерию минимизации затрат на перевозки при заданных ограничениях.

Логистический центр специализируется на доставке грузов в пределах транспортного коридора. В центр поступают заявки от клиентов на доставку партий грузов. Доставка может осуществляться различными видами транспорта, с перегрузкой на терминалах, различными типами подвижного состава в пределах каждого вида транспорта. При этом необходимо соблюдать следующие требования:

1. Неделимость заявленной партии груза. Партия груза, заявленная клиентом к перевозке, на каждом участке транспортной сети (от терминала до терминала) должна перевозиться одним видом транспорта, а не распределяться между несколькими видами (при этом в пределах одного вида транспорта допускается одновременное использование нескольких типов подвижного состава). Такое ограничение позволяет лучше координировать действия участников транспортного процесса и облегчает задачу контроля процесса выполнения перевозок.

2. Соблюдение временных рамок – недопустимость превышения заявленного клиентом времени доставки. Срывы сроков доставки имеют крайне негативные последствия, отражающиеся на репутации логистического центра и тем самым влияющие на количество поступающих заявок, а, следовательно, и на величину прибыли центра, которая в условиях рыночной экономики является основной целью деятельности предприятия.

3. Учет провозных возможностей парка подвижного состава всех типов каждого вида транспорта, который имеется в распоряжении логистического центра. Логистический центр занимается организацией перевозок, при этом не важно, имеет ли он собственный парк транспортных средств или использует для своих целей только на-

емный подвижной состав. На момент решения поставленной задачи в распоряжении центра имеется определенное количество единиц подвижного состава различных видов транспорта, которое складывается из величины собственного парка (при его наличии) и из условий договоров, заключенных между центром и транспортными предприятиями (перевозчиками), располагающимися на различных участках рассматриваемой транспортной сети.

Так как при осуществлении деятельности основной целью логистического центра является получение прибыли, то при распределении партий груза по видам транспорта центр преследует цель минимизации собственных затрат на осуществление перевозок.

Сформулируем задачу в математической форме, для чего введем необходимые обозначения. В общем случае в осуществлении перевозок задействовано $i = 1,2\ldots m$ видов транспорта, в составе каждого из которых имеется $r = 1,2\ldots R_i$ типов подвижного состава, транспортная сеть (по которой необходимо провести груз) состоит из $j = 1,2\ldots n$ участков между перевалочными пунктами (терминалами), логистический центр имеет $k = 1,2\ldots K$ заявок на осуществление перевозок.

Введем переменную x_{rikj}, показывающую количество единиц подвижного состава r-го типа i-го вида транспорта, которые перевозят груз по k-й заявке на j-м участке транспортной сети. Обозначим через стоимость перевозки k-й партии груза (партии груза по k-й заявке) r-м типом подвижного состава i-го вида транспорта на j-м участке. Таким образом, минимизации подлежит функция:

$$c(x) = \sum_{r=1}^{R_i}\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{n} c_{rikj}x_{rikj} .$$

Обозначим через Q_{rikj} количество груза по k-й заявке, перевозимое по j-му участку r-м типом подвижного состава i-го вида транспорта. Тогда условие удовлетворения потребностей клиентов по объемам перевозок будет иметь вид:

$$\sum_{r=1}^{R_i} Q_{rikj}x_{rikj} = Q_{ikj}, \; i = 1,2\ldots m, \; k = 1,2\ldots K,$$

$$j = 1,2\ldots n.$$

Если a_{rij} – количество единиц подвижного состава i-го вида транспорта r-го типа, на которое может рассчитывать логистический центр при организации перевозок на j-м участке транспортной сети, то условие наличия подвижного состава для осуществления перевозок всех заявленных партий груза (груза по всем имеющимся заявкам) для всех участков будет иметь вид:

$$\sum_{k=1}^{K} x_{rikj} \le a_{rij}, \; r = 1,2\ldots R_i, \; i = 1,2\ldots m,$$

$$j = 1,2\ldots n.$$

Введем величину q_{rikj}, показывающую, задействован или нет r-й тип подвижного состава i-го вида транспорта при перевозке k-й партии груза по j-му участку сети, которая с учетом условия неотрицательности перевозок ($x_{rikj} \ge 0$) будет принимать значения:

$$q_{rikj} = \begin{cases} 0, \text{ если } x_{rikj} = 0 \\ 1, \text{ если } x_{rikj} > 0, \end{cases}$$

$$r = 1,2\ldots R_i, \; i = 1,2\ldots m, \; k = 1,2\ldots K, \; j = 1,2\ldots n.$$

Необходимо для каждой k-й заявки на каждом j-м участке определить матрицу G_{rikj} ($R_i \times m$), элементы которой $q_{rikj} = 1$ или 0 и показывают использование r-х типов подвижного состава в пределах i-го вида транспорта. Так как при выполнении любой k-й заявки на каждом j-м участке может быть задействовано несколько типов подвижного состава, но только один вид транспорта, то сумма элементов r будет равна 0 во всех столбцах i, кроме одного (обозначим этот столбец l):

$$\begin{cases} \sum_{r=1}^{R_i} q_{rijk} = 0, \; i \ne l \\ \sum_{r=1}^{R_i} q_{rijk} \ge 1, \; i \ne l, \end{cases}$$

$$i = 1,2\ldots m, \; k = 1,2\ldots K, \; j = 1,2\ldots n.$$

Условие соблюдения времени доставки, заданного клиентом, целесообразно достигать, минимизируя максимальное время (из всех возможных значений) доставки. Обозначим t_{rikj} время доставки k-й партии груза по j-му участку r-м типом подвижного состава i-го вида транспорта. Тогда

$$\max t_{rikj} q_{rikj} \to \min,\ r = 1,2\ldots R_i,\ i = 1,2\ldots m,$$
$$k = 1,2\ldots K,\ j = 1,2\ldots n.$$

Минимизировать максимальное время доставки возможно итерационно – путем проверки получаемого на каждом этапе решения на минимум по критерию времени. В поставленной задаче критерием оптимизации является минимизация затрат логистического центра по осуществлению перевозок. Решение задачи по двум критериям (еще и по критерию времени) требует большого объема вычислений, которых можно избежать, переведя критерий минимизации времени в ранг ограничений. Для этого введем величину T_{ijf}, обозначающую минимальное время доставки груза по j-му участку i-м видом транспорта (независимо от типа подвижного состава), получаемое на каждой итерации, где $f = 1,2\ldots F$ – порядковый номер осуществляемой итерации. Величина T_{ijf} с проведением каждой итерации будет уменьшаться до тех пор, пока не достигнет минимума. Тогда условие минимизации максимального времени доставки груза можем записать следующим образом:

$$\max t_{rikj} q_{rikj} \le T_{ijf},\ r = 1,2\ldots R_i,\ k = 1,2\ldots K.$$

Сформулируем полное условие задачи:

$$C(x) = \sum_{r=1}^{R_i}\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{n} c_{rikj} x_{rikj} \to \min$$

при ограничениях:

$$\begin{cases} x_{rikj} \ge 0,\ r = 1,2\ldots R_i, i = 1,2\ldots m, \\ k = 1,2\ldots K,\ j = 1,2\ldots n; \\ \sum\limits_{r=1}^{R_i} Q_{rijk} x_{rijk} = Q_{ikj},\ i = 1,2\ldots m, \\ k = 1,2\ldots K,\ j = 1,2\ldots n; \\ \sum\limits_{k=1}^{K} x_{rijk} \le a_{rij},\ r = 1,2\ldots R_i, i = 1,2\ldots m,\ j = 1,2\ldots n; \\ \max t_{rikj} G_{rikj} \le T_{ijf},\ f = 1,2\ldots F, \\ G_{rikj} = \begin{cases} 0, \text{ если } x_{rikj} = 0 \\ 1, \text{ если } x_{rikj} > 0. \end{cases} \end{cases}$$

Отметим, что условия данной задачи позволяют рассматривать транспортную сеть как аддитивное пространство, где перевозки по всем участкам можно рационализировать, минимизируя функцию $C(x) = \sum_{r=1}^{R_i}\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{K}\sum_{j=1}^{n} c_{rikj} x_{rikj}$ при заданных ограничениях отдельно на каждом участке, т.е. все решение сводится к решению n идентичных задач.

Необходимо также учитывать и другие ограничения, характерные для каждого конкретного вида транспорта. В частности, при рассмотрении автомобильного транспорта необходимо принять во внимание пропускную способность путей сообщения, а также тот факт, что транспортные средства могут осуществлять перевозки между одними и теми же пунктами по различным маршрутам, от чего зависит и расстояние перевозки, и скорость передвижения (на разные типы автомобильных дорог нормативами наложены различные скоростные ограничения), следовательно, и время доставки, являющееся требованием, соблюдение которого есть важный показатель качества транспортного обслуживания.

Сформулированная транспортная задача является распределительной задачей линейного программирования, т.е. задачей, в которой выполняемые работы (количество перевозимых грузов) и ресурсы (типы подвижного состава различных видов транспорта) выражаются в разных единицах измерения. Для решения распределительной задачи существуют различные методы, которые основаны на итерационном совершенствовании базового плана с проверкой его на оптимальность на каждом этапе вычислений.

Решение поставленной задачи представляет собой техническое обоснование экономической целесообразности осуществления перевозок, при этом учитывается возможность использования нескольких видов транспорта с различными типами подвижного состава при его ограниченном количестве, необходимость выполнения перевозок в установленные сроки, без срыва производственных процессов, с наименьшими затратами участников логистической цепи, что несомненно влияет на конкурентоспособность логистического центра на рынке оказания транспортных услуг и качественные показатели транспортной отрасли в целом.