

- 
- 2.
  3. Гаспарян Г.Д. Теоретические и экспериментальные исследования воздействия ультразвуковых волн на кору лесоматериалов с целью его окорки. – Деп. в ВИНИТИ №1399-В2006. – М., 2006.
  4. Закиров К.Р. Численное моделирование роста и схлопывания пузырьков в сжимаемой жидкости: дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Уфа, 2005. – 105 с.
  5. Brenner M.P., Hilgenfeldt S. and Lohse D. Single-bubble sonoluminescence // Rev. Mod. Phys. – 2002. – Vol. 74. – P. 425–483.
  6. Flannigan D.J. and Suslick K.S. Molecular and atomic emission during single-bubble cavitation in concentrated sulfuric acid Acoustics / Research Letters Online. – 2005. – Vol. 6. – № 3. – P. 157–161.
- 



УДК 004.9

И.М. Еналеева-Бандура, Г.Л. Козинов,  
В.Г. Миргунова, А.Г. Данилов

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С УЧЕТОМ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

В статье рассмотрены существующие способы моделирования интегрированных логистических сетей, приведен анализ моделей оптимизации перевозочного процесса, предложен новый способ построения математической модели перевозок с учетом стохастической составляющей, включающей в себя факторы неопределенности внешней среды, оказывающие влияние на деятельность интегрированного предприятия.

**Ключевые слова:** логистическая сеть, моделирование, интеграция, оптимальное планирование, стохастическая составляющая.

I.M. Yenaleeva-Bandura, G.L. Kozinov,  
V.G. Mirgunova, A.G. Danilov

## THE INTEGRATED LOGISTIC NETWORK MODELING TAKING INTO ACCOUNT THE STOCHASTIC COMPONENT

The existing ways of the integrated logistic network modeling are considered, the analysis of the transportation process optimization models is provided, the new way of the transportation mathematical model development taking into account the stochastic component including factors of the environment uncertainty, having impact on the activity of the integrated enterprise is offered.

**Key words:** logistic network, modeling, integration, optimum planning, stochastic component.

---

**Введение.** Для большинства задач оптимального планирования перевозок, возникающих в современной практике организации грузовых транспортных потоков, актуальны принципы распределения готовой продукции на основе минимизации суммарных транспортных издержек. Речь идет о решении производственных и транспортных задач и их различных модификаций. Решается в основном задача рационального распределения материальных (товарных) потоков между сетью поставщиков и потребителей продукции (например, распределительными складскими центрами и складами потребителей), а также об идентификации торговых зон на основе группировки потребителей и прикрепления их к пунктам производства с минимальными транспортными издержками.

**Материалы и методы исследований.** Приведем теоретические аспекты наиболее известных в науке способах моделирования интегрированных логистических сетей. Представляют особый интерес модели производственно-транспортной цепи при транзитной форме снабжения и складской (с участием транспортно-грузовых центров), а также постановка задачи максимизации экономического эффекта отправителя.

Требуется с учетом ограничения по ресурсам найти такие комбинации  $X_1$  и  $X_2$ , размеры поставок, которые максимизируют целевую функцию. Кроме того, существует модель построения оперативного плана поставки продукции от изготовителя до потребителя, основанная на идеях логистики. Транспортным процессом

доставки управляют с помощью информации о текущих запасах отправителей и получателей грузов и сравнения их с нормативными, а также информации об интенсивности производства и потребления продукции. Интересна возможность выбора приоритетов доставки грузов различным потребителям. С этой целью авторы описываемой методики вводят функцию срочности доставки:

$$W(t) = Q(t)^*c/T_d - t , \quad (1)$$

где  $Q(t)$  – объем перевозок в момент времени  $t$ ;

$c$  – средняя цена груза;

$T_d$  – нормативное время доставки;

$t$  – текущее время в границах интервала доставки.

Функция  $W(t)$  представляет собой потери вследствие смертвления оборотных средств, отнесенные к 1 ч пребывания груза на складе отправителя. При определении приоритета доставки строятся несколько кривых для различных грузов, которые вследствие неодинаковой скорости изменения пересекаются друг с другом, что соответствует перераспределению приоритетов доставки различных грузов. При постановке и решении описанной задачи идея логистики проявляется в системном подходе, учитывающем ритмы производства, потребления у получателя готовой продукции и работу транспорта [1].

Последнее время предлагается моделировать логистическую сеть посредством динамических задач линейного программирования. Это задачи о рациональном графике использования основных фондов (оборудования), оборотных фондов (сырья), задача об узких местах. Особый интерес вызывают задачи, связанные с разработкой стратегии приобретения и продажи в условиях изменяющегося спроса. Здесь необходимо найти оптимальное соотношение между объемом приобретаемого ( $x(t)$ ), хранимого ( $z(t)$ ) и продаваемого продукта ( $y(t)$ ) ( $t=1, \dots, T$ ), при котором обеспечивается максимальная прибыль.

$$\sum_{t=1}^T = C^1(t) * y(t) - C^2 * x(t) - C^3 * z(t) \rightarrow \max \quad (2)$$

при условиях:

$$\sum_{t=1}^T (y(t) - x(t) + z(t)) = d_0 ; t = 1, \dots, T; \quad (3)$$

$$y(t) \leq d_0 ; (t) - z(t-1) \leq 0 ; t = 1, \dots, T; \quad (4)$$

$$z(t) \leq d , t = 1, \dots, T; \quad (5)$$

$$x(t) \geq 0 , y(t) \geq 0 , \quad (6)$$

где  $C^{(1)}(t)$  – продажная цена единицы продукта в момент времени  $t$ ;

$C^{(2)}(t)$  – цена единицы продукта, приобретаемого в момент времени  $t$ ;

$C^{(3)}(t)$  – затраты на хранение единицы продукта в момент времени  $t$ ;

$d$  – емкость склада;

$d_0$  – начальный запас некоторого продукта.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Динамическая задача в данной постановке не учитывает сложностей логистической системы товародвижения, таких, как транспортные затраты и задержки при доставке грузов, возможности транзитной формы поставок (минута склад), выгоду от ускорения движения транспортных потоков и товарной массы. Для этого была разработана динамическая транспортная задача с задержками (ДТЗЗ) в постановке, учитывающая основные принципы логистического подхода и эффективное взаимодействие производителей и потребителей продукции.

Обратная цель приведенной выше задачи – минимизировать функционал  $F$ .

$$F = \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}^{mp}(t) X_{ij}(t) + \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^n C_j^*(t) U_j(t) + \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^n C_j^n(t) \tau_j(t) + \sum_{t=0}^T \sum_{j=0}^n C_j^{**}(t) X_{ij}^{**}(t) \Delta t^{**}(t) \rightarrow \min \quad (7)$$

при ограничениях:

1) статического баланса объемов производства, перевозок и потребления:

$$\sum_{i=0}^{T_0} \sum_{j=1}^m \alpha_i(t) = \sum_{t=0}^{T_0} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}(t) = \sum_{t=0}^{T_0} \sum_{j=1}^n B_j(t); \quad (8)$$

2) динамической связи поставщиков и потребителей:

$$X_{ij}^*(t) = X_{ij}^{**}(t + t_{ij}), i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; t = 0, \dots, T_0; \quad (9)$$

3) динамики запасов потребителей:

$$U_j(t+1) = U_j(t) + \sum_{i=1}^m X_{ij}^{**}(t) - B_j(t), j = 1, \dots, n; t = 0, \dots; \quad (10)$$

4) полного отправления поставок:

$$\alpha_i(t) = \sum_{j=1}^n X_{ij}^{**}(t), i = 1, \dots, m; t = 0, \dots, T_0. \quad (11)$$

5) динамического баланса производства и потребления:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^m \alpha_i(t) \geq \sum_{t=0}^{t+j} \sum_{j=1}^n B_j(t), t = 0, \dots, T_0. \quad (12)$$

6) естественной неотрицательности грузопотоков и запасов;

$$X_{ij}(t) \geq 0, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; t = 0, \dots, T_0; \quad (13)$$

$$U_j(t) \geq 0, j = 1, \dots, n; t = 0, \dots, T_0, \quad (14)$$

где  $i$  – пункт производства,  $i \in (1, \dots, m)$ ;  $j$  – пункт потребления,  $j \in (1, \dots, n)$ ;  $C_{ij}^{mp}(t)$  – удельные затраты на перевозку груза в момент времени  $t$  от  $i$ -го поставщика  $j$ -му потребителю;  $X_{ij}(t)$  – объем поставки, вышедший в момент времени от  $i$ -го поставщика  $j$ -му потребителю;  $C^*(t)$  – удельные затраты в момент времени  $t$  на хранение груза у  $j$ -го потребителя;  $t_{ij}$  – время движения от  $i$ -го поставщика к  $j$ -му потребителю;  $C^n(t)$  – затраты на единичную коррекцию производственной программы у  $j$ -го потребителя;  $\tau_j(t)$  – коррекция производственной программы у  $j$ -го потребителя в момент времени  $t$ ;  $C^{**}(t)$  – стоимость потерь у  $j$ -го потребителя из-за опоздания единицы груза на единицу времени;  $X_{ij}^{**}(t)$  – объем опаздывающей перевозки;  $t^{**}(t)$  – время опоздания поставки от  $i$ -го поставщика  $j$ -му потребителю к моменту спроса  $t$ ;  $a_i(t)$  – объем производства  $i$ -го поставщика в момент времени  $t$ ;  $b_j(t)$  – объем спроса  $j$ -го потребителя в момент времени  $t$ ;  $X_{ij}^*(t)$  – объем поставки, вышедший в момент времени  $t$  от  $i$ -го поставщика  $j$ -му потребителю;  $X_{ij}^{**}(t)$  – объем поставки, привыгшей в момент времени  $t$  от  $i$ -го поставщика  $j$ -му потребителю [3].

Но приведенная модель не учитывает изменение процессов, происходящих в реальных условиях, которые характеризуются непостоянством и неравномерностью, в рассматриваемой модели, значения расчетных параметров являются строго фиксированными, в результате решения получаются строго определенные и постоянные оптимальные значения искомых величин. Если внешние условия изменились или приняли другое значение, можно рассчитать новый вариант плана, либо включить в модель фактор неопределенности, т.е. стохастическую составляющую, и математическая модель эффективной логистической сети принимает вид (15):

$$F = \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}^{mp}(t) X_{ij}(t) + \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^n C_j^*(t) U_j(t) + \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^n C_j^{**}(t) X_{ij}^{**}(t) \Delta t^{**}(t) + \varepsilon(t) \rightarrow \min,$$

$$\sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^n C_j^n(t) \tau_j(t), \quad (15)$$

где  $\varepsilon$  – случайная составляющая, представляющая собой влияние факторов неопределенности на исследуемый показатель во времени.

К факторам неопределенности можно отнести следующие: правило использования (недостаток) сырьевых ресурсов  $W_L$ ; высокий уровень теневых экономических отношений в отрасли  $B$ ; деятельность монополий  $M$ ; деятельность государственных законотворческих структур  $G$ . Влияние каждого из них можно установить экспертными методами.

$\varepsilon = (W_L + B + M + G)$  – эффект финансовых потерь (приобретений) вследствие влияния выделенных факторов неопределенности [2].

Степень влияния каждого из факторов на функционал отражает весовой коэффициент  $g$ , определяемый группой экспертов отрасли. Скорректированная с учетом весовых коэффициентов формула (15) примет следующий вид:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}(1 - g_b)X_{ij}(t)(1 - g_w) + \sum_{t=0}^T \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij}^{mp}(t)(1 - g_G + g_m)X_{ij}(t)(1 - g_w) + \sum_{t=0}^T \sum_{j=1}^n C_j^*(t)U_j(t) + \sum_{t=0}^T \sum_{j=0}^n C_j^{**}(t)X_{ij}^{**}(t)(1 - g_w)\Delta t^{**}(t) \rightarrow \min, \quad (16)$$

где  $g_w$  – весовой коэффициент оценки влияния ресурсного фактора на объем (отгружаемой) производимой продукции;

$g_b$  – весовой коэффициент оценки влияния фактора теневых экономических отношений на себестоимость (отгружаемой) производимой продукции, %;

$g_G$  – весовой коэффициент оценки влияния законодательного фактора на таможенные и налоговые платежи;

$g_m$  – весовой коэффициент оценки влияния монопольного фактора на транспортные расходы [2].

Таким образом, на основании расчета приведенного функционала для группы интегрированных предприятий ЛПК осуществляется учет стохастической составляющей при выборе рационального способа доставки лесопродукции.

**Заключение.** Предлагаемый способ моделирования интегрированной логистической сети рационального распределения продукции является экономически целесообразной схемой перевозок по минимуму суммарных приведенных затрат, так как, кроме динамической связи поставщиков и потребителей, учитывает и стохастическую составляющую.

### **Литература**

1. Лукинский В.С. Модели и методы теории логистики: учебник. – Л.: Питер, 2008. – 448 с.
2. Кобалинский М.В. Формирование и выбор управлеченческих решений в интегрированных структурах лесопромышленного комплекса: дис. ... канд. экон. наук. – Красноярск, 2006. – С. 88–89.
3. Гнедаш М.А. Выбор рациональных способов перевозки бытовой техники железнодорожным транспортом: дис. ... канд. техн. наук. – Липецк, 2006. – 275 с.

