

**И. М. ГОДЛЕВСКИЙ**, аспирант кафедры САиУ НТУ «ХПИ»;  
**А. А. ПИНАЕВА**, студентка кафедры АСУ НТУ «ХПИ»

## **МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ И СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПРИ СТРАТЕГИЧЕСКОМ УПРАВЛЕНИИ ЛОГИСТИКОЙ ДИСТРИБЬЮЦИИ**

В работе рассматривается задача конфигурирования логистической сети дистрибьюции товаров массового использования. Проведена декомпозиция всей задачи на две отдельные подзадачи: задача рассеивания; задача консолидации и разукрупнения продукции. Модель первой – задача структурно-топологического синтеза с булевыми переменными. Модель второй – транспортная задача линейного программирования с непрерывными, целочисленными и булевыми переменными. Для их решения использован метод ветвей и границ.

**Ключевые слова:** логистическая сеть, дистрибьюция, декомпозиция, транспортная задача, линейное программирование, метод ветвей и границ.

**Введение.** Согласно [1] корпоративная стратегия фирмы формируется из маркетинговой, логистической и производственной стратегии. При этом стратегическая цель в области логистики состоит из ряда подцелей, которые достигаются на основе решения ряда задач: конфигурирование логистической сети; разработка организационной структуры логистической системы (ЛС); разработка технологий координации функционирования отдельных составляющих ЛС; создание интегрированной системы управления запасами; формирование стратегических требований к качеству логистического сервиса; выбор логистической информационной системы.

Впервые в работе [2] рассмотрена целостная технология формирования системы организационного управления логистикой дистрибуции при стратегическом планировании, которая состоит из двух этапов.

1. Конфигурирование логистической сети.
2. Формирование структуры и системы организационного управления.

Второй этап состоит из следующих подэтапов:

- 1) формирование участников сети цепочек поставок;
- 2) формирование центров влияния (координация цепи) и анализ связей в цепочках поставок;
- 3) синтез иерархической организационной структуры управления;
- 4) формирование локальных задач и задач координации;
- 5) оптимизация логистической системы на основе межорганизационной межфункциональной координации;
- 6) принятие решения по выбору структуры и системы организационного управления логистикой дистрибуции.

В области логистики, как ни в одной другой сфере нашей жизни, применяется широкий спектр математических методов: исследование операций, системный анализ, программно-целевое планирование, имитационное моделирование и другие методы в области исследования сложных систем. Для реализации задач конфигурирования логистической сети, в которую входит и создание интегрированной системы управления запасами, используются модели и алгоритмы решения транспортных задач, управления запасами, а также модели и алгоритмы выбора мест размещения производства и складских помещений.

В работе рассматривается эшелонированная структура логистической сети дистрибуции товаров массового использования с двумя промежуточными уровнями, которые представлены разукрупняющими и консолидирующими складами. На первых сортируются крупные партии грузов и готовятся к отправке потребителям. Консолидация грузов необходима производителям, заводы которых расположены вдали друг от друга. Учитывая большую размерность задачи, а также то обстоятельство, что различным уровням сети цепочек поставок соответствуют различные типы транспортных задач, проведена декомпозиция всей задачи на две отдельные подзадачи:

- 1) задача рассеивания;
- 2) задача консолидации и разукрупнения продукции.

В работе рассматривается детерминированная постановка задачи, которая в дальнейшем будет использована при вероятностном спросе на продукцию, а также рассмотрении других случайных параметров логистической сети.

**Модель задачи рассеивания.** Введём ряд параметров, которые будут использованы при формировании модели задачи:  $m_4$  – фиксированное количество потребителей на четвертом уровне логистической сети;  $k$  – номер потребителя ( $k=1,2,..m_4$ );  $m_3$  – количество потенциальных мест расположения региональных (разукрупняющих) складов;  $\mu_3$  – количество используемых складов регионального уровня при условии, что  $0 < \mu_3 \leq m_3$ ;  $C_{kj}$  – стоимость транспортировки единицы продукции с  $j$ -го регионального склада  $k$ -му потребителю;  $\hat{\alpha}_{kp}$  – объем потребления  $p$ -го продукта  $k$ -м потребителем.

Товары массового использования перевозятся в паллетах. Поэтому в дальнейшем в качестве единицы измерения перевозимых грузов будем использовать паллету, в которой может быть размещено различное количество единиц конкретных видов грузов. Будем считать, что нет ограничения на совместную перевозку различных видов грузов. Тогда суммарный объем потребления продукции  $k$ -м потребителем определяется следующим образом

$$\tilde{\alpha}_k = \sum_{p=1}^P \hat{\alpha}_{kp}, \quad k = 1, 2, \dots, m_4,$$

где  $P$  – количество видов потребляемой продукции.

Введем переменные модели задачи рассеивания:  $\tilde{x}_{kj} \in \{0,1\}$  – булева переменная, которая равна единице, если  $k$ -й потребитель продукции связан транспортной артерией с  $j$ -м региональным складом;  $\hat{x}_j \in \{0,1\}$  – булева переменная, которая равна единице, если  $j$ -й склад используется при решении задачи рассеивания.

На основе введенных параметров и переменных модель задачи рассеивания записывается в следующем виде. Найти такое значение кортежа  $(\{\hat{x}_j\}, \{\tilde{x}_{kj}\})$ , которое обеспечивает минимальное значение целевой функции

$$F_1(\{\tilde{x}_{kj}\}) = \sum_{j=1}^{m_3} \sum_{k=1}^{m_4} C_{kj} \tilde{\alpha}_k \tilde{x}_{kj} \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{m_3} \tilde{x}_{kj} \geq 1, \quad \tilde{x}_{kj} \in \{0,1\}, \quad k = \overline{1, m_4}, \quad j = \overline{1, m_3}, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{m_3} \hat{x}_j = \mu_3, \quad \hat{x}_j \in \{0,1\}, \quad j = \overline{1, m_3}, \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{m_4} \tilde{x}_{kj} \leq \hat{x}_j \cdot m_4, \quad j = \overline{1, m_3}. \quad (4)$$

Целевая функция (1) определяет суммарные транспортные расходы на перевозку продукции с региональных складов потребителям. Условие (2) означает, что каждый потребитель продукции должен быть связан хотя бы с одним региональным складом. Условие (3) определяет ограничение на количество складов регионального уровня. Ограничение (4) означает, что если региональный склад не используется, то с него продукция потребителям не поставляется. Правая часть условия (4) равна  $\hat{x}_j \cdot m_4$ , так как при использовании  $j$ -го склада он может обслуживать максимум  $m_4$  потребителей.

**Модель задачи консолидации и разукрупнения.** Данная задача является транспортной с промежуточными узлами, в качестве которых выступают консолидирующие склады. Исходными являются пункты производства продукции, а конечными – региональные склады. Преобразуем

эту задачу в обычную транспортную и введем ряд параметров, которые будут использованы при построении модели:  $M_3$  – множество складов регионального уровня, местоположение которых определяется в результате решения задачи рассеивания при условии, что  $|M_3| = \mu_3$ ;  $m_2$  – количество потенциальных мест расположения консолидирующих складов, а  $\mu_2$  – их количество  $0 < \mu_2 \leq m_2$ ;  $m_1$  – количество мест производства продукции;  $\bar{C}_l$  – удельные затраты на один километр для  $l$ -го типа транспортного средства;  $V_l$  – грузоподъемность  $l$ -го типа транспорта;  $h_{ij}$  – расстояние между  $i$ -м и  $j$ -м пунктами транспортной задачи ( $i = \overline{1, m_2 + m_1}$ ;  $j = \overline{1, m_2 + m_3}$ );  $\bar{\alpha}_{jp}$  – объем продукции  $p$ -го вида, который необходимо поставить  $j$ -му региональному складу. Данная величина зависит от длительности цикла поставки продукции и определяется на основе  $\hat{\alpha}_{kp}$ . В том случае, если длительность цикла поставки продукции с пунктов производства на региональные склады совпадают с длительностью цикла задачи рассеивания, то

$$\bar{\alpha}_{jp} = \sum_{k \in M_4^j} \hat{\alpha}_{kp}, \quad p = \overline{1, P}; \quad j = \overline{1, \mu_3},$$

где  $\overline{M}_4^j$  – множество пунктов потребления, прикрепленных к  $j$ -му региональному складу, которое определяется в результате решения задачи рассеивания. Параметр  $\tilde{\alpha}_{ip}$  – определяет максимальный объем поставки продукции  $p$ -го вида  $i$ -м производителем.

Введем переменные задачи консолидации и разукрупнения:  $\hat{y}_{ij}^l$  – целочисленная переменная, определяющая количество транспортных средств  $l$ -го типа, перевозящих готовую продукцию с  $i$ -го в  $j$ -й пункт;  $L$  – количество типов транспортных средств;  $\tilde{y}_{ij}^p$  – объем поставок в паллетах  $p$ -го вида продукции с  $i$ -го в  $j$ -й пункт;  $y_i$  – булева переменная, которая равна единице, если потенциальное место расположения  $i$ -го консолидирующего склада используется, и нулю – в противном случае.

На основе введенных параметров и переменных модель задачи консолидации и разукрупнения готовой продукции записывается в следующем виде. Найти такое значение кортежа переменных  $(\{\hat{y}_{ij}^l\}, \{\tilde{y}_{ij}^p\}, \{y_i\})$ , которое обеспечивает минимальное значение целевой функции

$$F_2(\{\hat{y}_{ij}^l\}) = \sum_{i=1}^{m_1+m_2} \sum_{j=1}^{m_2+m_3} \sum_{l=1}^L \bar{C}_l h_{ij} \hat{y}_{ij}^l \quad (5)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^{m_3} \tilde{y}_{ij}^p = \bar{\alpha}_{jp}, \quad j = \overline{m_2 + 1, m_2 + m_3}, \quad p = \overline{1, P}, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{m_2} \tilde{y}_{ij}^p \leq \tilde{\alpha}_{ip}, \quad i = \overline{m_2 + 1, m_2 + m_1}, \quad p = \overline{1, P}, \quad (7)$$

$$\sum_{i=m_2+1}^{m_2+m_1} \tilde{y}_{ik}^p = \sum_{j=m_2+1}^{m_2+m_3} y_{kj}^p, \quad k = \overline{1, m_2}, \quad p = \overline{1, P}, \quad (8)$$

$$\sum_{p=1}^P \tilde{y}_{ij}^p \leq \sum_{l=1}^L V_l \hat{y}_{ij}^l, \quad i = \overline{1, m_2 + m_1}, \quad j = \overline{1, m_2 + m_3}, \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^{m_2} y_k = \mu_2, \quad (10)$$

$$\sum_{j=m_2+1}^{m_2+m_3} \sum_{p=1}^P \tilde{y}_{kj}^p \leq y_k \cdot \sum_{j=m_2+1}^{m_2+m_3} \sum_{p=1}^P \bar{\alpha}_{jp}, \quad k = \overline{1, m_2}, \quad (11)$$

$$\tilde{y}_{ij}^p \geq 0, \quad i = \overline{1, m_2 + m_1}, \quad j = \overline{1, m_2 + m_3}, \quad p = \overline{1, P}, \quad (12)$$

$$\hat{y}_{ij}^l \in N, \quad i = \overline{1, m_2 + m_1}, \quad j = \overline{1, m_2 + m_3}, \quad l = \overline{1, L}, \quad (13)$$

$$y_k \in \{0, 1\}, \quad k = \overline{1, m_2}, \quad (14)$$

где  $N$  – множество целых положительных чисел.

Целевая функция (5) определяет транспортные затраты на перевозку продукции с пунктов производства в региональные склады. Условие (6) определяет, что продукция  $p$ -го типа должна быть поставлена в  $j$ -й региональный склад с уровня консолидирующих складов в объеме  $\bar{\alpha}_{jp}$ . Условие (7) определяет ограничение на объем перевозки  $p$ -го вида продукции с  $i$ -го пункта производства на уровень консолидирующих складов. Правая часть равенства (8) определяет объем  $p$ -го вида продукции, которая поступает на  $k$ -й консолидирующий склад с пунктов производства продукции, а левая часть – объем  $p$ -го вида продукции, который выходит с  $k$ -го консолидирующего склада и поступает на склады регионального уровня. Условие (9) определяет, что на каждом  $(i, j)$ -м маршруте суммарный объем готовой продукции по всем видам не должен превосходить суммарную грузоподъемность по

всем транспортным средствам, которые эксплуатируются на  $(i, j)$ -м маршруте. Равенство (10) указывает, что эксплуатируется  $\mu_2$  консолидирующих складов. Условие (11) означает, что если некоторый  $k$ -й консолидирующий склад не используется, то суммарный поток продукции, который выходит из него, равен нулю и при использовании склада не должен превосходить суммарный объем продукции, поступающей на все региональные склады.

**Выводы.** В работе рассматривается детерминированная задача транспортной логистики при эшелонированной поставке товаров массового использования с двумя промежуточными уровнями, которые представлены разукрупняющими и консолидирующими складами. Учитывая большую размерность задачи, она декомпозирована на отдельные подзадачи линейного программирования. Одна из подзадач содержит булевы переменные, а вторая: непрерывные, целочисленные и булевы. Для их решения использован метод ветвей и границ.

**Список литературы:** 1. Сергеев В. И. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / Под общ. и научн. ред. проф. В. И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 976 с. 2. Сток Дж. Р. Стратегическое управление логистикой / Сток Дж. Р., Ламберт Д. М. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 797 с. 3. Бауэрсокс Доналд Дж. Интегрированная цепь поставок / Бауэрсокс Доналд Дж., Клосс Дейвид Дж. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. – 640 с. 4. Годлевский М. Д. Технология формирования системы организационного управления логистикой дистрибуции при стратегическом планировании / М. Д. Годлевский, А. А. Станкевич, И. М. Годлевский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2012. – № 4/3 (58). – С. 17–21. 5. Годлевский М. Д. Классификация иерархических систем управления и координации бизнес-процессов цепочек поставок / М. Д. Годлевский, А. А. Станкевич // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2010. – № 3. – С. 18–23.

**Bibliography (transliterated):** 1. Sergeev, V. I., ed. *Korporativnaja logistika. 300 otvetov na voprosy professionalov*. Moscow: INFRA-M, 2005. Print. 2. Stok, Dzh. P. and D. M. Lambert. *Strategicheskoe upravlenie logistikoj*. Moscow: INFRA-M, 2005. Print. 3. Baueroks, Donall Dzh., and Deyvid Dzh. Kloss. *Integrirovannaja tsep' postavok*. – М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2005. Print. 4. Godlevskiy, M. D., A. A. Stankevich and I. M. Godlevskiy. "Tehnologija formirovanija sistemy organizatsionnogo upravlenija logistikoj distrib'utsii pri strategicheskom planirovanii." *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*. No 4/3 (58). 2012. 17–21 Print. 5. Godlevskiy, M. D., and A. A. Stankevich. "Klassifikatsija ijerarkhicheskikh sistem upravlenija i koordinatsii biznes-protsessov tsepoček postavok." *Visnyk NTU "HPI"*. No 3. Kharkiv: NTU «HPI», 2010. 18–23. Print

*Поступила (received) 08.12.2014*