

**М.Д. ГОДЛЕВСКИЙ**, д-р техн. наук, проф., зав. каф. АСУ НТУ «ХПИ»,  
**А. А. СТАНКЕВИЧ**, ассистент каф. АСУ НТУ «ХПИ»

## ПРИНЦИПЫ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСНАЦИОНАЛЬНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КОМПАНИИ

У роботі проведено обґрунтування структури регіональної транспортно-складської системи логістичної компанії. Розроблено обґрунтовану модель процесу доставки товарів споживачу, яка складається з ряду етапів зберігання та транспортування товарів. Намічені шляхи її структурно-параметричного синтезу.

В работе проведено обоснование структуры региональной транспортно-складской системы логистической компании. Разработана обобщенная модель процесса доставки товаров потребителю, которая состоит из ряда этапов хранения и транспортировки товаров. Намечены пути ее структурно-параметрического синтеза.

The substantiation of regional structure of warehouse-transportation system in logistics company is made. The general model of the goods delivery to a consumer, which consists of storage and transportation actions is developed. Ways of structural and parametrical synthesis is planned.

**1. Введение.** В современной цепи поставщиков продукции необходимо выделить работу отдельных логистических компаний, предоставляющих услуги хранения и распределения товаров от начала производственной цепи до полок магазинов. Учитывая процессы глобализации мировой экономики и количество вовлеченных стран в производственную цепь, а также их территориальное расположение в этой цепи, работа логистических компаний становится стратегически актуальной и важной. Одной из основных задач компаний производителей является определение потребительского спроса на товары необходимой категории в заданном регионе в необходимое покупателю время. Для решения такой задачи необходим тщательный анализ географического региона на предмет потребительского спроса и реализация продукции в соответствии со спросом на основе результатов этого анализа и информации о самом товаре, его свойствах и требованиях к хранению и передвижению. Цель логистических компаний, обслуживающих сферу производства, состоит в обеспечении доставки товаров покупателю с минимальными затратами в установленные сроки. Для этого необходимо решать задачу структурно-параметрического синтеза транспортно-складской системы, которая состоит в определении: оптимального количества складов и их расположения, обличовых характеристик каждого склада, оптимальной системы перевозок товаров от производителя на склад и далее потребителю, области использования каждого склада и т.д. Значительным фактором, влияющим на формирование транспортно-складской системы (ТСС) является

сезонность потребления товара, длительность пика и разница объемов потребления (максимальная и минимальная величины колебания). Таким образом, оптимально построенная ТСС позволит доставлять необходимое количество товаров конечному потребителю в нужное время, минимизируя затраты, а значит увеличивая прибыль.

**2. Обоснование структуры ТСС.** Основные функциональные составляющие рассматриваемой в работе системы и их взаимосвязь приведены на рис. 1. Так как цель компаний производителей продукции состоит в обеспечении продукцией ее потребителей в заданном регионе и в заданные сроки, то для решения этой задачи необходимо формировать прогноз спроса. В качестве потребителей продукции рассматриваются различные магазины, супермаркеты и т.д., имеющие свои локальные склады. Транспортно-складская система является функциональной составляющей, обеспечивающей «мост» между производством и потреблением продукции. Проведем ее анализ с точки зрения синтеза структуры.

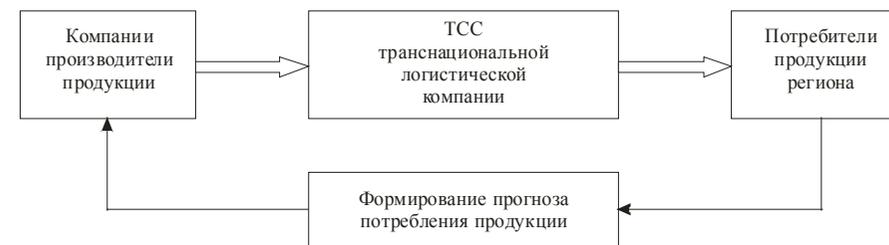


Рис. 1. Функциональная структура рассматриваемой системы

Структура ТСС зависит от размеров рассматриваемой территории, объемов потребляемой продукции и ее номенклатуры, а также от географического расположения компаний производителей продукции. Так как в качестве географической территории в дальнейшем будет рассматриваться Украина, то на основе экспертных оценок специалистов предлагается следующая трехуровневая транспортно-складская система:

- верхний, национальный уровень;
- средний, региональный уровень;
- нижний, локальный уровень.

Верхний уровень ТСС представляет собой складские комплексы, обладающие высокой пропускной способностью, покрывающие потребление товара во всем географическом регионе. Основной функцией таких складов является концентрация товара в регионе от компаний поставщиков. Номенклатура товара в полном объеме скапливается в складах для дальнейшего распределения в регионы, но меньшими партиями. Количество

складов национального уровня зависит от размера географической территории и от типа транспорта, используемого при доставке товара от производителей, который выбирается с целью оптимизации транспортных расходов.

Средний, региональный уровень представляет собой промежуточные склады в географическом регионе, покрываемом складами национального уровня. Будем считать, что каждый склад регионального уровня покрывает свою территорию (часть территории национального уровня) и продукция потребляется в полном объеме номенклатурного списка. Совокупное количество продаваемого товара может изменяться ввиду множества факторов, таких как экономическое развитие региона, интенсивность рекламной компании и как результат – необходимость в дополнительном потреблении продукта.

Нижний, локальный уровень распределения конечному потребителю представляет собой склады торговых центров, например супермаркетов и специализированных магазинов. В этих точках осуществляется продажа товара, т.е. выход товара из распределительной системы.

Разница в работе трех уровней ТСС основывается на отличии объема входа и выхода продукции на складах, а также транспортных средств, используемых между уровнями ТСС. Различные объемы движения товара через склады определяют не только необходимую площадь хранения, но и техническое оснащение этих помещений, а также определяют различные складские процессы для обработки грузов. Национальный уровень ТСС предполагает передвижение одной номенклатурной единицы в большом объеме крупными транспортными единицами или разными видами транспорта, например, морские и автодорожные перевозки. Дальнейшее распределение товаров в регионы предполагает смешивание всех номенклатурных единиц между собой в небольшом объеме. Такие операции требуют дополнительных складских площадей и техники для эффективной работы, т.е. других обликковых характеристик. Склады среднего уровня ТСС должны обладать техническими характеристиками для обработки большой номенклатуры товара в небольшом количестве. Далее поток товара еще в меньшем количестве направляется малотоннажными транспортными средствами в конечные точки распределения нижнего уровня ТСС.

### 3. Основные этапы процесса доставки товаров потребителю.

Исходя из предложенной структуры ТСС процесс доставки товаров потребителю можно разбить на пять подпроцессов и в соответствии с этим формировать пять взаимосвязанных моделей с целью оптимизации их структуры и параметров. Рассмотрим в обобщенном виде модели каждого из этих подпроцессов. Предварительно введем следующие параметры и переменные:

$x_{ij}^t$  – прогноз объема  $j$ -го типа товара соответствующего производителя

продукции для  $i$ -го потребителя продукции в  $t$ -м подпериоде планирования, где  $i \in I^t$  – множество потребителей товаров рассматриваемого региона;

$J_\varphi^t$  – множество типов товаров, производимых  $\varphi$ -й фирмой, где:  $j \in J_\varphi^t$ ,

$\varphi \in \Phi^t$  – множество фирм производителей товаров;

$L^t$  – множество складов национального уровня.

**Этап 1.** Доставка товаров фирмами производителями на национальные склады. Так как  $j$ -й тип товара может быть доставлен на любой национальный склад, то введем параметр

$$\bar{x}_j^t = \sum_{i \in I^t} x_{ij}^t, \quad j \in J_\varphi^t, \quad \varphi \in \Phi^t,$$

определяющий прогноз объемов товаров  $j$ -го типа, который должен поступить в ТСС для его доставки потребителю. В результате первый подпроцесс для  $t$ -го подпериода планирования может быть записан следующим образом

$$\{\bar{x}_j^t, j \in J_\varphi^t, \varphi \in \Phi^t\} \xRightarrow{\pi_1(L^t)} \{\{\bar{x}_{jl}^t, l \in L^t\}, j \in J_\varphi^t, \varphi \in \Phi^t\}, \quad (1)$$

где  $\pi_1(L^t)$  – оператор, реализующий оптимальную стратегию распределения продукции между множеством  $L^t$  складов национального уровня, а переменные  $\bar{x}_{jl}^t$  определяют объем  $j$ -го типа товара, который должен быть доставлен на  $l$ -й склад в течение  $t$ -го подпериода планирования. При этом

$$\bar{x}_j^t = \sum_{l \in L^t} \bar{x}_{jl}^t, \quad j \in J_\varphi^t, \quad \varphi \in \Phi^t.$$

**Этап 2.** Хранение товаров на складах национального уровня. При рассмотрении данного подпроцесса необходимо решить задачу определения оптимальных обликковых характеристик каждого склада национального уровня, их количество и место расположения.

Введем вектор  $V_s^t = \{V_{ls}^t, s \in S\}$ , определяющий обликковые характеристики  $l$ -го национального склада, где  $V_{ls}^t$  – размер площадей (объем помещений), для  $s$ -го вида хранения товаров.  $S$  – множество видов хранения товаров. При этом будем считать, что подмножество  $\hat{J}_{\varphi s}^t$  определяет множество типов товаров  $s$ -го вида хранения  $\varphi$ -й фирмы при условии

$$J_\varphi^t = \bigcup_{s \in S} \hat{J}_{\varphi s}^t, \quad \varphi \in \Phi^t; \quad \bar{J}_s^t = \bigcup_{\varphi \in \Phi^t} \hat{J}_{\varphi s}^t, \quad s \in S.$$

Будем считать заданными:

1) технологии хранения, приема и отгрузки товаров на каждом  $l$ -м складе национального уровня;

2) законы поступления  $\Gamma_l^{ts}$  и отгрузки  $\Lambda_l^{ts}$  на  $l$ -м складе товаров в объеме  $y_l^{ts}$   $s$ -го вида хранения в течение  $t$ -го подпериода планирования, где

$$y_l^{ts} = \sum_{j \in J_l^t} \bar{x}_{jl}^t, \quad s \in S, \quad l \in L^t.$$

В результате второй подпроцесс для  $t$ -го подпериода планирования запишем в следующем виде

$$\left\{ \Gamma_l^{ts}(y_l^{ts}), \quad s \in S, \quad l \in L^t \right\} \xRightarrow{\{\pi_2^t(V_l^t), l \in L^t\}} \left\{ \Lambda_l^{ts}(y_l^{ts}), \quad s \in S, \quad l \in L^t \right\}, \quad (2)$$

где  $\pi_2^t(V_l^t)$  – оператор, реализующий технологию хранения, приема и отгрузки товаров на  $l$ -м складе национального уровня с обликowymi характеристиками, определяемыми вектором  $V_l^t$ .

**Этап 3.** Доставка товаров со складов национального уровня на склады регионального уровня. Данный подпроцесс запишем в следующем виде

$$\left\{ \left\{ \bar{x}_{jl}^t, \quad j \in J_\varphi^t, \quad \varphi \in \Phi^t \right\}, \quad l \in L^t \right\} \xRightarrow{\{\pi_3^t(K_l^t), l \in L^t\}} \left\{ \left\{ \tilde{x}_{jl}^{tk}, \quad j \in J_\varphi^t, \quad \varphi \in \Phi^t, \quad k \in K_l^t \right\}, \quad l \in L^t \right\}, \quad (3)$$

где  $K_l^t$  – множество складов регионального уровня, ориентированных на  $l$ -й склад национального уровня. При этом выполняются следующие условия

$$K_l^t \subset K^t = \bigcup_{l \in L^t} K_l^t, \quad \bigcap_{l \in L^t} K_l^t \neq \emptyset.$$

Это означает, что отдельные склады регионального уровня получают товары из нескольких складов национального уровня.  $\tilde{x}_{jl}^{tk}$  – объем  $j$ -го типа товаров, которые должны быть доставлены на  $k$ -й склад регионального уровня с  $l$ -го склада национального уровня в течение  $t$ -го подпериода планирования при условии

$$\bar{x}_{jl}^t = \sum_{k \in K_l^t} \tilde{x}_{jl}^{tk}, \quad j \in J_\varphi^t, \quad \varphi \in \Phi^t, \quad l \in L^t.$$

Оператор  $\pi_3^t(K_l^t)$ , как и оператор  $\pi_1(L^t)$ , реализует решение двух типов задач:

- 1) оптимальный план доставки грузов со складов национального уровня на склады регионального уровня (задача маршрутизации);
- 2) формирование оптимального комплекса транспортных средств (КТС) для решения первой задачи. При этом возможны три постановки данной проблемы:

- логистическая компания ориентируется на свои транспортные средства и тогда стоит задача формирования их оптимального типоразмерного ряда;
- логистическая компания арендует транспортные средства и тогда стоит задача реализации оптимальных арендных условий;
- смешанный вариант, когда имеется определенный КТС, а недостаток транспортных средств арендуется.

**Этап 4.** Хранение товаров на региональных складах. Как и для второго этапа, в этом случае необходимо решать аналогичные следующие задачи:

- 1) определение множества складов регионального уровня  $K_l^t$ , которые будут получать продукцию с  $l$ -го склада национального уровня, где  $l \in L^t$ ;
- 2) определение местоположения каждого склада регионального уровня из множества  $K^t$ ;
- 3) формирование обликowych характеристик каждого склада регионального уровня, которые определяются вектором  $\bar{V}_k^t = \{\bar{V}_{ks}^t, s \in S\}$ ,  $k \in K^t$ .  $\bar{V}_{ks}^t$  – размер площадей (объем помещений) для  $s$ -го вида хранения продукции в  $k$ -м складе регионального уровня с учетом оснащения этих помещений соответствующим оборудованием и технологиями.

При этом будем считать заданными:

- 1) технологии хранения, приема и отгрузки товаров на каждом  $k$ -м складе регионального уровня;
- 2) законы поступления  $\hat{\Gamma}_k^{ts}$  и отгрузки  $\hat{\Lambda}_k^{ts}$  на  $k$ -м складе товаров в объеме  $\bar{y}_k^{ts}$   $s$ -го вида хранения в течение  $t$ -го подпериода планирования, где

$$\bar{y}_k^{ts} = \sum_{l \in L^t} \sum_{j \in J_l^t} \tilde{x}_{jl}^{tk}, \quad s \in S, \quad k \in K^t.$$

В результате четвертый подпроцесс для  $t$ -го подпериода планирования запишем в следующем виде

$$\left\{ \hat{\Gamma}_k^{ts}(\bar{v}_k^{ts}), s \in S, k \in K^t \right\} \Rightarrow \left\{ \hat{\Lambda}_k^{ts}(\bar{v}_k^{ts}), s \in S, k \in K^t \right\}, \quad (4)$$

где  $\pi_4^k(\bar{V}_k^t)$  – оператор, реализующий технологию хранения, приема и отгрузки товаров на  $k$ -м складе регионального уровня с обликowymi характеристиками, определяемыми вектором  $\bar{V}_k^t$ .

**Этап 5.** Доставка товаров со складов регионального уровня на локальные склады потребителей продукции. Данный подпроцесс запишем в следующем виде

$$\left\{ \tilde{x}_j^{tk}, j \in J_\varphi^t, \varphi \in \Phi^t, k \in K^t \right\} \Rightarrow \left\{ \pi_5^k(\bar{I}_k^t), k \in K^t \right\} \\ \left\{ \{x_{ij}^{tk}, j \in J_\varphi^t, \varphi \in \Phi^t, i \in \bar{I}_k^t\}, k \in K^t \right\}, \quad (5)$$

где  $\hat{x}_j^{tk}$  – объем  $j$ -го типа товаров поступающих на  $k$ -й региональный склад в течение  $t$ -го подпериода планирования.

$$\hat{x}_j^{tk} = \sum_{i \in I^t} \tilde{x}_{ij}^{tk}, \quad j \in J_\varphi^t, \varphi \in \Phi^t.$$

$\bar{I}_k^t$  – множество складов на локальном уровне, которые получают продукцию с  $k$ -го склада регионального уровня. Будем считать, что выполняются следующие условия

$$\bar{I}_k^t \subset I^t = \bigcup_{k \in K^t} \bar{I}_k^t, \quad \bigcap_{k \in K^t} \bar{I}_k^t = \emptyset.$$

Это означает, что каждый склад на локальном уровне получает продукцию только с одного склада регионального уровня.  $x_{ij}^{tk}$  – объем  $j$ -го типа товаров, которые должны быть доставлены на  $i$ -й склад локального уровня с  $k$ -го склада регионального уровня в течение  $t$ -го подпериода планирования при условии

$$\hat{x}_j^{tk} = \sum_{i \in \bar{I}_k^t} x_{ij}^{tk}, \quad j \in J_\varphi^t, \varphi \in \Phi^t, k \in K^t.$$

Оператор  $\pi_5^k(\bar{I}_k^t)$  обеспечивает решение задач, аналогичных первому и третьему этапам процесса доставки товаров конечному потребителю.

**4. Предварительный анализ процесса доставки товаров потребителю.** Исходя из структуры ТСС, проведена формализация пяти подпроцессов

доставки товаров потребителю. Для каждого подпроцесса определены основные переменные и операторы, которые должны обеспечить оптимальную стратегию реализации соответствующего подпроцесса. Как видно из (1)–(5), за счет общих переменных обобщенных моделей отдельных подпроцессов они тесно взаимосвязаны, и исследовать отдельно каждый подпроцесс с точки зрения оптимизации его параметров нельзя без учета этого обстоятельства. Так, например, затраты на подпроцесс доставки товаров производителей продукции на национальные склады зависят от их количества, местоположения, обликowych характеристик. В свою очередь, от этих параметров (переменных) зависят затраты на хранение продукции на складах. Таким образом, стоит проблема тщательного анализа взаимосвязанных моделей с целью их декомпозиции и последующей координации их функционирования. Другое направление исследований – разработка схем оптимизации подобных динамическому программированию, когда осуществляется последовательный отбор лучших вариантов и отбрасывание тех, которые заведомо не могут претендовать на включение в оптимальную схему поставок продукции ее потребителям. Именно этим вопросам и будут посвящены дальнейшие исследования авторов.

*Поступила в редколлегию 24.02.09*