



Александр Моисеев,
к.ю.н., доцент, заведующий кафедрой
государственной, муниципальной службы
и менеджмента, Российская академия
народного хозяйства и государственной
службы при Президенте Российской
Федерации, Липецкий филиал, директор

МОДЕЛЬ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

Часть II

Аннотация. В статье описано формирование математической модели логистической структуры. Модель обеспечивает формальное представление состояния, систематизацию активов структуры, позволяет анализировать эффективность прошлой и выбирать предпочтительные варианты будущей деятельности. На примере показана реализация некоторых задач оценки состояний.

Ключевые слова. Модель логистики, анализ ретроспективы, оценка перспективы, управление структурой.

Annotation. In the paper is described the formation of a mathematical model of the logistics structure. The model provides a formal representation of the state of the structure and systematization of assets. On the set of states the model makes it possible to analyze the effectiveness of past and choose the preferred options for future activities. On the model of the illustrative structure is shown the implementation of some of the practical tasks of situations assessment.

Key words. Model of logistic, analysis of retrospective, assessment of the prospects, management of structure.

4. Предприятия в логистической структуре

Математическая модель (7)–(12), отражающая изменение состояний логистической структуры вследствие перемещения сущностей внутри нее и через ее границы, не содержит возможностей для описания изменения сущностей. Реальные структуры включают производственные предприятия, которые в пределах структуры осуществляют производство новых сущностей за счет утилизации исходных сущностей. Обеспечение функционирования предприятий требует выполнения определенных соотношений между потоками сущностей, без учета которых нельзя сформировать рациональное управление логистикой структуры.

В контексте задач логистики предприятия могут быть определены объ-

ектами, которые трансформируют входные сущности в выходные сущности нового типа [10]. Изменения объемов сущностей на входе и выходе предприятий определяют динамику логистической структуры. Объемы производства G^i , $i = 1, 2, \dots, m$, где m – количество видов продукции, задаются производственным планом предприятия.

Детализация соответствия между входным и выходным грузопотоками предприятия в логистической структуре может быть обеспечена оператором преобразования, отражающим объемы исходных сущностей, необходимые для производства единицы продукции. Объемы физических сущностей нельзя суммировать вследствие возможной разницы масштабов, поэтому количественное соотношение между исходными ингредиентами и продукцией можно представить

следующим оператором преобразования:

$$R^i : (p_1^i \cap p_2^i \cap p_3^i \cap \dots \cap p_{j_i}^i) \rightarrow 1\phi^i, (16)$$

где, p_j^i (ед. ϕ_j /ед. ϕ^i) – расходный коэффициент, определяющий норму расхода ресурса ϕ_j на единицу продукции ϕ^i ,

$i = 1, 2, \dots, m$ – виды продукции, m – их число,

$j = 1, 2, \dots, n$ – виды ресурсов, n – их число,

1 – отражает одну физическую единицу произвольной продукции вида i ,

$\cap$ – обозначает операцию логического умножения «И».

Оператор R^i отражает, что для производства единицы продукции вида i используется единиц сущности 1, единиц сущности 2 и т.д. до последней сущности.

$$\begin{aligned}
R^1 \times G^1 &= (p_1^1 G^1 \cap p_2^1 G^1 \cap p_3^1 G^1 \cap \dots \cap p_n^1 G^1) \rightarrow G^1 \times 1\varphi^1, \\
R^2 \times G^2 &= (p_1^2 G^2 \cap p_2^2 G^2 \cap p_3^2 G^2 \cap \dots \cap p_n^2 G^2) \rightarrow G^2 \times 1\varphi^2, \\
&\dots\dots\dots \\
R^m \times G^m &= (p_1^m G^m \cap p_2^m G^m \cap p_3^m G^m \cap \dots \cap p_n^m G^m) \rightarrow G^m \times 1\varphi^m.
\end{aligned} \quad (18)$$

Таблица 1.

Общий вид таблицы R-параметров операторов преобразования

Оператор	Входные сущности				Выходные сущности
	Φ_1	Φ_2		Φ_n	
$R^{p;g;\varphi^1}$	ρ_1^1	ρ_2^1		ρ_n^1	φ^1
$R^{p;g;\varphi^2}$	ρ_1^2	ρ_2^2		ρ_n^2	φ^2
...					...
$R^{p;g;\varphi^m}$	ρ_1^m	ρ_2^m		ρ_n^m	φ^m

План производства предприятия на определенный период времени представляет совокупность заданных объемов всех видов продукции:

$$G = \{G^1, G^2, \dots, G^m\}, \quad (17)$$

где G^i , $i = 1, 2, \dots, m$ – плановые объемы, m – количество видов продукции.

Объемы исходных сущностей, которые должны быть доставлены на предприятие для производства плановых объемов продукции G (16), определяются умножением расходных коэффициентов j -го вида сырья или умножением оператора преобразования R^j на объем продукции G^i , что дает (18).

Суммирование (18) по одноименным j -м столбцам дает объемы j -х сущностей, которые требуется доставлять к предприятию:

$$G_j = \sum_{i=1}^m \rho_j^i G^i. \quad (19)$$

Соотношения (19) показывают, что предприятие в логистике может быть представлено таблицей 1 совокупности параметров операторов преобразования R .

Таблица имеет размеры $m \times n$, где m – количество строк (видов продукции), а $n = \max\{n_1, n_2, \dots, n_m\}$ – число столбцов (типов исходных сущностей).

Расходные коэффициенты ρ_j^i сущностей j , не используемых при производстве продукции вида i , полагаются равными нулю. Таблица параметров операторов производства R определяет однозначное отображение объемов сущностей, входящих в предприятие, в объемы

сущностей, выпускаемых им. Операторы (18) в контексте задач управления логистикой формально отражают функциональность предприятий, синтезирующих объемы новых сущностей на основе утилизации объемов исходных сущностей. Они позволяют согласовать потоки на входе и выходе предприятий.

Таблицу R , отражающую совокупность параметров операторов преобразования, можно интерпретировать матрицей преобразования R , а план производства – объемы выходных сущностей (16) – вектором G . Нетрудно видеть, что операция умножения матрицы R на вектор G не может быть определена вследствие разнородности компонентов в каждой строке матрицы R и вектора G . Поэтому в (18) вместо сложения используется операция «И».

Однако если использовать транспонированную матрицу R^T , при ее умножении на вектор G , возможно, и получается следующий результат (20).

$$\begin{pmatrix} \rho_1^1 & \rho_1^2 & \dots & \rho_1^m \\ \rho_2^1 & \rho_2^2 & \dots & \rho_2^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_n^1 & \rho_n^2 & \dots & \rho_n^m \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} G^1 \\ G^2 \\ \dots \\ G^m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_1 \\ G_2 \\ \dots \\ G_n \end{pmatrix}$$

$$\text{или } R^T \times G^* = G, \quad (20)$$

где G^* – вектор объемов выходных сущностей, G – вектор объемов входных сущностей.

Нетрудно увидеть, что (20) обобщает (19) и позволяет по заданным объемам выходных сущностей определить количества входных сущностей, необходимых для их производства.

Терминалы для хранения сущностей могут интерпретироваться как частный случай предприятий с операторами преобразования, равными 1. Поэтому таблицы преобразования 1 и соответствующие им матричные соотношения (20) между объемами сущностей на выходе и входе могут быть определены для логистического центра $c_j = \{r_1, r_2, \dots, r_{1j}\}$, где r_i , $i = 1, 2, \dots, I_j$ – терминалы и предприятия, образующие центр. Объединением таблиц преобразования всех центров, входящих в структуру, синтезируется общая таблица преобразования структуры, позволяющая установить взаимосвязи между объемами сущностей, формируемыми на выходе и поступающими на ее вход. При рассмотрении динамики таблицы позволяют ввести временные регламенты функционирования предприятий в логистической структуре.

Можно отметить, что разработанный метод формального представления функциональности предприятий в логистических структурах легко проверяется и адаптируется по результатам фактической реализации запланированного производства, по фактическим грузопотокам и, что важно, по экономической отчетности предприятий [11]. Умножением объемов ресурсов на цену и объемов продукции на себестоимость, получается представление производства в денежном масштабе, которое должно отражаться в бухгалтерском учете предприятия [12].

5. Иллюстрационная модель логистической структуры

5.1. Схема логистической структуры

Вербальное описание процессов и объектов всегда избыточно и неоднозначно. Формальное представление объекта в виде математической модели должно обеспечивать однозначное отражение содержания объекта, адекватное задачам, для решения которых создается модель. Однозначность обеспечивается использованием математического языка, представления которого не всегда очевидны. Поэтому пониманию формальных моделей способствует их иллюстрация на наглядных примерах отражения неочевидных взаимосвязей и закономерностей моделируемых объектов и процессов. Для пояснения содержательного существа использованных выше формальных

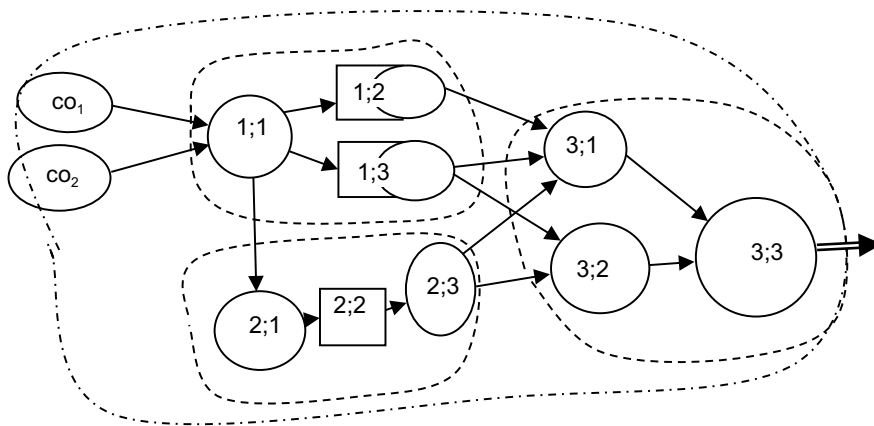


Рисунок 1. Схема иллюстрационной логистической системы: овалы – складские терминалы, прямоугольники – предприятия, сплошные линии – компоненты центров, штриховые линии – центры, штрихпунктирная линия – логистическая структура

представлений вводится иллюстрационная логистическая структура. Обозримость результатов обеспечивается использованием предельно простой структуры, позволяющей отразить содержательную сущность основных компонентов модели и ее применения для решения задач.

Обозначения в системе, представленной на рис. 1, согласуются с использованными на рис. 1 статьи [1]. В системе три центра, в каждом из них по три объекта. В центре 1 имеется один складской терминал 1;1 и два предприятия со складами. Принимается, что терминал 1;1 предназначен для хранения сущностей $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, которые поступают от поставщиков co_1 и co_2 ; предприятие 1;2 производит сущность φ_5 и имеет терминал для ее хранения; предприятие 1;3 производит сущность φ_6 и имеет терминал для ее хранения. Сущность φ_5 из центра 1 может передаваться на терминал 3;1 центра 3, а сущность φ_6 – на терминалы 3;1 и 3;2.

Терминал 2;1 предназначен для хранения сущностей $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, необходимых для производства сущностей φ_7 и φ_8 предприятием 2;2, которое не имеет внутренних складов и передает продукцию на терминал 2;3. Сущность φ_7 может передаваться на терминалы 3;1 и 3;2 центра, а φ_8 – на терминал 3;2. Терминал 3;3 используется для хранения и формирования партий поставок сущностей $\varphi_5, \varphi_6, \varphi_7, \varphi_8$ из логистической структуры внешним потребителям ck_1 и ck_2 . Число объектов, сущностей и взаимосвязей приходится ограничивать условием обозримости представлений (2)–(20).

5.2. Параметры структуры

Общая модель (7)–(20) адаптируется к условиям конкретной логистической структуры заданием значений совокупности параметров, отражающих ее возможности по хранению, трансформации и перемещению сущностей. Для адаптации системы, изображенной на рис. 1, необходимо задать емкости складских терминалов $Q^{ij}, i, j = 1, 2, 3$ и операторы производства предприятий 1;2, 1;3 и 2;2.

Принимаются следующие значения параметров терминалов: $Q^{1;1} \leq 1000 \varphi_1 \cup \varphi_2 \cup \varphi_3 \cup \varphi_4, Q^{1;2} \leq 300 \varphi_5; Q^{1;3} \leq 400 \varphi_6; Q^{2;1} \leq 1500 \varphi_1 \cup \varphi_2 \cup \varphi_3 \cup \varphi_4; Q^{2;3} \leq 1000 \varphi_7 \cup \varphi_8; Q^{3;1} \leq 1000 \varphi_5 \cup \varphi_6 \cup \varphi_7; Q^{3;2} \leq 1000 \varphi_5 \cup \varphi_6 \cup \varphi_7 \cup \varphi_8; Q^{3;3} \leq 2000 \varphi_5 \cup \varphi_6 \cup \varphi_7 \cup \varphi_8$. Здесь $\cup$ обозначает операцию «ИЛИ», т.е. условия хранения сущностей не различаются; числа обозначают предельный объем хранения в единицах измерения сущностей.

Параметры операторов преобразования для предприятий $R^{1;2}, R^{1;3}$ и $R^{2;2}$, конкретизирующие пред-

Таблица 2.

Параметры операторов преобразования предприятий $R^{1;2}, R^{1;3}$ и $R^{2;2}$

Оператор	Входные сущности				Выходные сущности
	φ_1	φ_2	φ_3	φ_4	
$R^{1;2;\varphi_5}$	1	2	0,7	0,5	φ^5
$R^{1;3;\varphi_6}$	1	3	0,5	0,4	φ^6
$R^{2;2;\varphi_7}$	0,8	0,6	1,5	1,8	φ^7
$R^{2;2;\varphi_8}$	0,65	0,45	1	3	φ^8

ставление таблицы 1 к структуре, показанной на рис. 1, приведены в табл. 2.

Схемы, показанной на рис. 1, и приведенных параметров достаточно для начальной иллюстрации применения формального аппарата логистики.

6. Иллюстрации применения аппарата логистики

6.1. Анализ ретроспективы

Коммуникации в логистической структуре компактно и однозначно описываются матрицей транспортной связности терминалов, общий вид которой представлен таблицей 1 в [2]. Для иллюстрационной структуры, представленной на рис. 1, матрица связности приведена в таблице 3.

Формализация описания перемещений в виде

$$g(\tau)_{c_n r_m; c_l r_l}^{c_l r_l; \varphi_j}$$

и σ -индексы позволяют синтезировать логистику транспортных цепей. Для структуры, изображенной на рис. 1, совокупность возможных цепей представлена на рис. 2.

Матрица связности, определенная таблицей 3, позволяет формировать цепи автоматически выделением компонентов перемещений (8), имеющих равные единице значения σ -индексов. Существенное значение для формализации процедур синтеза цепей имеет принятый вид оператора перемещения $g(\tau)_{c_n r_m; c_l r_l}^{c_l r_l; \varphi_j}$, который отражает объем $g(\tau)$, начало $c_n r_m$ и конец $c_l r_l$ траектории, а также состояния сущности φ_j в начале и φ_n в конце траектории. Поэтому участки траекторий всегда стыкуются, что формально отражается совпадением верхних индексов предшествующего с нижними индексами последующего перемещения. Это позволяет проверять практическую реализуемость цепей.

Таблица 3.

Матрица транспортной связности иллюстрационной структуры

		Код cirl терминала доставки										
		1;1	1;2	1;3	2;1	2;2	2;3	3;1	3;2	3;3	ck1	ck2
Код cirl терминала отправки	0;1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0;2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1;1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	1;2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	1;3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	2;1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	2;2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	2;3	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	3;1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	3;2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	3;3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Примечание: потребители продукции ck_1 и ck_2 на рис. 1 не показаны.

$$\left. \begin{array}{l} g_{0;1}^{1;1;\varphi_1} \\ g_{0;1}^{1;1;\varphi_2} \\ g_{0;2}^{1;1;\varphi_3} \\ g_{0;2}^{1;1;\varphi_4} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} (p_1^5 g_{1;1;\varphi_1}^{1;2;\varphi_5} \cap p_2^5 g_{1;1;\varphi_2}^{1;2;\varphi_5} \cap p_3^5 g_{1;1;\varphi_3}^{1;2;\varphi_5} \cap p_4^5 g_{1;1;\varphi_4}^{1;2;\varphi_5}) = g_{1;1;1}^{1;2;\varphi_5} \rightarrow g_{1;2;\varphi_5}^{3;1;\varphi_5} \rightarrow g_{3;1;\varphi_5}^{3;3;\varphi_5} \\ (p_1^6 g_{1;1;\varphi_1}^{1;3;\varphi_6} \cap p_2^6 g_{1;1;\varphi_2}^{1;3;\varphi_6} \cap p_3^6 g_{1;1;\varphi_3}^{1;3;\varphi_6} \cap p_4^6 g_{1;1;\varphi_4}^{1;3;\varphi_6}) = g_{1;1;1}^{1;3;\varphi_6} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} g_{1;3;\varphi_6}^{3;1;\varphi_6} \rightarrow g_{3;1;\varphi_6}^{3;3;\varphi_6} \\ g_{1;3;\varphi_6}^{3;2;\varphi_5} \rightarrow g_{3;2;\varphi_6}^{3;3;\varphi_6} \end{array} \right. \\ g_{1;1;1}^{2;1;\varphi_7} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} (p_1^7 g_{2;1;\varphi_1}^{2;2;\varphi_7} \cap p_2^7 g_{2;1;\varphi_2}^{2;2;\varphi_7} \cap p_3^7 g_{2;1;\varphi_3}^{2;2;\varphi_7} \cap p_4^7 g_{2;1;\varphi_4}^{2;2;\varphi_7}) = g_{2;1;1}^{2;2;\varphi_7} \rightarrow g_{2;2;\varphi_7}^{2;3;\varphi_7} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} g_{2;3;\varphi_7}^{3;1;\varphi_7} \rightarrow g_{3;1;\varphi_7}^{3;3;\varphi_7} \\ g_{2;3;\varphi_7}^{3;2;\varphi_7} \rightarrow g_{3;2;\varphi_7}^{3;3;\varphi_7} \end{array} \right. \\ (p_1^8 g_{2;1;\varphi_1}^{2;2;\varphi_8} \cap p_2^8 g_{2;1;\varphi_2}^{2;2;\varphi_8} \cap p_3^8 g_{2;1;\varphi_3}^{2;2;\varphi_8} \cap p_4^8 g_{2;1;\varphi_4}^{2;2;\varphi_8}) = g_{2;1;1}^{2;2;\varphi_8} \rightarrow g_{2;2;\varphi_8}^{2;3;\varphi_8} \rightarrow g_{2;3;\varphi_8}^{3;2;\varphi_8} \rightarrow g_{3;2;\varphi_8}^{3;3;\varphi_8} \end{array} \right.
 \end{array} \right.$$

Рис. 2. Транспортные цепи в структуре, показанной на рис. 1

В скобках на рис. 2 формально операторами производства (18) отражены предприятия 1;2, 1;3 и 2;2. Из схемы видно, что предприятия утилизируют входящие сущности $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ и синтезируют новые сущности $\varphi_5, \varphi_6, \varphi_7$ и φ_8 . Операторы, числовые значения которых для иллюстрационной системы приведены в табл. 2, позволяют связать количественно входные и выходные потоки сущностей.

Для иллюстрации выполненных операций, описываемых формулами (2)–(6), принимается, что в моменты времени $-\tau_1 < -\tau_2 < -\tau_3$, принадлежащие интервалу $-\Delta t_1$, в структуре рис. 1 выполнены три группы транспортных и производственных операций, которые, используя введенную

формализацию, компактно отражают следующим образом:

- 1) $10(\tau_1)_{co_1;\varphi_1}^{1;1;\varphi_1}; 60(\tau_1)_{co_1;\varphi_2}^{1;1;\varphi_2}; 30(\tau_1)_{co_2;\varphi_3}^{1;1;\varphi_3}; 120(\tau_1)_{co_2;\varphi_4}^{1;1;\varphi_4}; 10(\tau_1)_{1;2;\varphi_5}^{3;1;\varphi_5}; 10(\tau_1)_{1;3;\varphi_6}^{3;1;\varphi_6}; 50(\tau_1)_{1;1;\varphi_1}^{2;1;\varphi_1}; 90(\tau_1)_{1;1;\varphi_2}^{2;1;\varphi_2}; 115(\tau_1)_{1;1;\varphi_3}^{2;1;\varphi_3}; 80(\tau_1)_{1;1;\varphi_4}^{2;1;\varphi_4};$
- 2а) $R^5: (1 \times 20)_{1;1;\varphi_1}^{1;2;\varphi_5} + 2 \times 20)_{1;1;\varphi_2}^{1;2;\varphi_5} + 0,7 \times 20)_{1;1;\varphi_3}^{1;2;\varphi_5} + 0,5 \times 20)_{1;1;\varphi_4}^{1;2;\varphi_5} = 20(\tau_2)_{1;1;1}^{1;2;\varphi_5}; 20(\tau_2)_{1;1;1}^{1;2;\varphi_5};$
 $R^6: (1 \times 25)_{1;1;\varphi_1}^{1;3;\varphi_6} + 3 \times 25)_{1;1;\varphi_2}^{1;3;\varphi_6} + 0,5 \times 25)_{1;1;\varphi_3}^{1;3;\varphi_6} + 0,4 \times 25)_{1;1;\varphi_4}^{1;3;\varphi_6} = 25(\tau_2)_{1;1;1}^{1;3;\varphi_6}; 25(\tau_2)_{1;1;1}^{1;3;\varphi_6};$
 $b_{1;1;\varphi_j} = \begin{array}{cccc} 45 & 110 & 26,5 & 20 \\ 1;1;\varphi_1 & 1;1;\varphi_2 & 1;1;\varphi_3 & 1;1;\varphi_4 \end{array}$
- 2б) $R^7: (0,8 \times 10)_{2;1;\varphi_1}^{2;2;\varphi_7} + 0,6 \times 10)_{2;1;\varphi_2}^{2;2;\varphi_7} + 1,5 \times 10)_{2;1;\varphi_3}^{2;2;\varphi_7} + 1,8 \times 10)_{2;1;\varphi_4}^{2;2;\varphi_7} = 10(\tau_2)_{2;1;1}^{2;2;\varphi_7}; 10(\tau_2)_{2;1;1}^{2;2;\varphi_7};$
 $R^8: (0,65 \times 15)_{2;1;\varphi_1}^{2;2;\varphi_8} + 0,45 \times 15)_{2;1;\varphi_2}^{2;2;\varphi_8} + 1 \times 15)_{2;1;\varphi_3}^{2;2;\varphi_8} + 3 \times 15)_{2;1;\varphi_4}^{2;2;\varphi_8} = 15(\tau_2)_{2;1;1}^{2;2;\varphi_8}; 15(\tau_2)_{2;1;1}^{2;2;\varphi_8};$
 $b_{2;1;\varphi_j} = \begin{array}{cccc} 17,75 & 12,75 & 30 & 63 \\ 2;1;\varphi_1 & 2;1;\varphi_2 & 2;1;\varphi_3 & 2;1;\varphi_4 \end{array}$
- 3) $40(\tau_3)_{co_1;\varphi_1}^{1;1;\varphi_1}; 30(\tau_3)_{co_1;\varphi_2}^{1;1;\varphi_2}; 15(\tau_3)_{co_2;\varphi_3}^{1;1;\varphi_3}; 32(\tau_3)_{co_2;\varphi_4}^{1;1;\varphi_4}; 30(\tau_3)_{1;2;\varphi_5}^{3;1;\varphi_5}; 20(\tau_3)_{1;3;\varphi_6}^{3;1;\varphi_6};$
 $10(\tau_3)_{1;3;\varphi_6}^{3;2;\varphi_5}; 5(\tau_3)_{2;3;\varphi_7}^{3;1;\varphi_7}; 15(\tau_3)_{2;3;\varphi_8}^{3;2;\varphi_7};$

Операции групп 1 и 3 отражают перемещение сущностей в структуре, операции групп 2а и 2б – преобразование исходных сущностей $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ и φ_4 в новые сущности $\varphi_5, \varphi_6, \varphi_7$ и φ_8 . В 2а и 2б показано определение объемов исходных сущностей по плановым объемам продукции с помощью операторов производства по алгоритму (19), с использованием значений параметров ρ_j^i из таблицы 2.

Для демонстрации формул (2)–(6) принимается, что состояние структуры в момент времени t_1 характеризовалось следующими запасами сущностей на терминалах:

$$\begin{aligned} Q^{1;1}(t_1) &= 100^{1;1;\varphi_1} \cap 150^{1;1;\varphi_2} \cap 110^{1;1;\varphi_3} \cap 100^{1;1;\varphi_4}; \\ Q^{1;2}(t_1) &= 50^{1;2;\varphi_5}; \\ Q^{1;3}(t_1) &= 100^{1;3;\varphi_6}; \\ Q^{2;1}(t_1) &= 30^{2;1;\varphi_1} \cap 50^{2;1;\varphi_2} \cap 120^{2;1;\varphi_3} \cap 100^{2;1;\varphi_4}; \\ Q^{2;3}(t_1) &= 30^{2;3;\varphi_7} \cap 50^{2;3;\varphi_8}; \\ Q^{3;1}(t_1) &= 50^{3;1;\varphi_5} \cap 80^{3;1;\varphi_6} \cap 30^{3;1;\varphi_7}; \\ Q^{3;2}(t_1) &= 10^{3;2;\varphi_6} \cap 50^{3;2;\varphi_7} \cap 20^{3;2;\varphi_8}; \\ Q^{3;3}(t_1) &= 30^{3;3;\varphi_5} \cap 50^{3;3;\varphi_6} \cap 20^{3;3;\varphi_7} \cap 10^{3;3;\varphi_8}. \end{aligned}$$

Объемы представлены в физических единицах измерения соответствующих сущностей φ_j .

Приведенные выше операции на интервале $(-\Delta t)$ позволяют по формулам (2) и (5) определить перемещения сущностей на терминалы и с терминалов. По перемещениям на интервале $(-\Delta t)$ и состояниям в момент t_1 определяются по (6) состояния структуры на момент времени t_0 . Для примера используется терминал 1;1. Из таблицы 3 следует, что в формуле (2) только

$$\delta_{0;1;\varphi_j}^{1;1;\varphi_j} = \delta_{0;2;\varphi_j}^{1;1;\varphi_j} = 1,$$

остальные σ -индексы будут иметь нулевые значения, поэтому (2) принимает вид:

$$\begin{aligned} q(\Delta t)^{1;1;\varphi_j} &= \sum_{i \in \Delta t} \left\{ \sum_{n=1}^2 q(t)^{1;1;\varphi_j}_{0;n;\varphi_j} \right\} = \\ &= \sum_{k=1}^3 \left(q(\tau_k)^{1;1;\varphi_j}_{0;1;\varphi_j} + q(\tau_k)^{1;1;\varphi_j}_{0;2;\varphi_j} \right), \\ j &= 1, 2, 3, 4. \end{aligned} \quad (21)$$

По ней для сущностей на терминале 1;1 представления (2) получаются в виде (21а).

Аналогичным образом по (5) вычисляются перемещения с терминала 1;1 различных сущностей. Из табл. 2 следует, что только

$$\delta_{1;1;\varphi_j}^{1;2;\varphi_j} = \delta_{1;1;\varphi_j}^{1;3;\varphi_j} = \delta_{1;1;\varphi_j}^{2;1;\varphi_j} = 1.$$

Остальные σ -индексы будут равны нулю. Поэтому (5) для рассматриваемого примера будет иметь вид (22).

$$\begin{aligned} q(\Delta t)^{1;1;\varphi_1} &= 10(\tau_1)^{1;1;\varphi_1}_{0;1;\varphi_1} + 40(\tau_3)^{1;1;\varphi_1}_{0;1;\varphi_1} = 50(\Delta t)^{1;1;\varphi_1} \\ q(\Delta t)^{1;1;\varphi_2} &= 60(\tau_1)^{1;1;\varphi_2}_{0;1;\varphi_2} + 30(\tau_3)^{1;1;\varphi_2}_{0;1;\varphi_2} = 90(\Delta t)^{1;1;\varphi_2} \\ q(\Delta t)^{1;1;\varphi_3} &= 30(\tau_1)^{1;1;\varphi_3}_{0;2;\varphi_3} + 15(\tau_3)^{1;1;\varphi_3}_{0;2;\varphi_3} = 45(\Delta t)^{1;1;\varphi_3} \\ q(\Delta t)^{1;1;\varphi_4} &= 120(\tau_1)^{1;1;\varphi_4}_{0;2;\varphi_4} + 32(\tau_3)^{1;1;\varphi_4}_{0;2;\varphi_4} = 152(\Delta t)^{1;1;\varphi_4}, \end{aligned} \quad (21a)$$

$$q(\Delta t)^{1;1;\varphi_j} = \sum_{k=1}^3 \left(q(\tau_k)^{1;2;\varphi_j}_{1;1;\varphi_j} + q(\tau_k)^{1;3;\varphi_j}_{1;1;\varphi_j} + q(\tau_k)^{2;1;\varphi_j}_{1;1;\varphi_j} \right), \quad j=1, 2, 3, 4. \quad (22)$$

$$\begin{aligned} q(\Delta t)^{1;1;\varphi_1} &= (50(\tau_1)^{2;1;\varphi_1}_{1;1;\varphi_1} + 20(\tau_2)^{1;2;\varphi_5}_{1;1;\varphi_1} + 25(\tau_2)^{1;3;\varphi_6}_{1;1;\varphi_1}) = 95(\Delta t)^{1;1;\varphi_1} \\ q(\Delta t)^{1;1;\varphi_2} &= (90(\tau_1)^{2;1;\varphi_2}_{1;1;\varphi_2} + 40(\tau_2)^{1;2;\varphi_5}_{1;1;\varphi_2} + 75(\tau_2)^{1;3;\varphi_6}_{1;1;\varphi_2}) = 205(\Delta t)^{1;1;\varphi_2} \\ q(\Delta t)^{1;1;\varphi_3} &= (115(\tau_1)^{2;1;\varphi_3}_{1;1;\varphi_3} + 14(\tau_2)^{1;2;\varphi_5}_{1;1;\varphi_3} + 12,5(\tau_2)^{1;3;\varphi_6}_{1;1;\varphi_3}) = 141,5(\Delta t)^{1;1;\varphi_3} \\ q(\Delta t)^{1;1;\varphi_4} &= (80(\tau_1)^{2;1;\varphi_4}_{1;1;\varphi_4} + 10(\tau_2)^{1;2;\varphi_5}_{1;1;\varphi_4} + 10(\tau_2)^{1;3;\varphi_6}_{1;1;\varphi_4}) = 100(\Delta t)^{1;1;\varphi_4}. \end{aligned} \quad (22a)$$

$$\begin{aligned} q(t_0)^{1;1;\varphi_1} &= 150(t_{-1})^{1;1;\varphi_1} + \{50(\Delta t)^{1;1;\varphi_1} - 95(\Delta t)^{1;1;\varphi_1}\} = 105^{1;1;\varphi_1} \\ q(t_0)^{1;1;\varphi_2} &= 213(t_{-1})^{1;1;\varphi_2} + \{90(\Delta t)^{1;1;\varphi_2} - 205(\Delta t)^{1;1;\varphi_2}\} = 98^{1;1;\varphi_2} \\ q(t_0)^{1;1;\varphi_3} &= 110(t_{-1})^{1;1;\varphi_3} + \{45(\Delta t)^{1;1;\varphi_3} - 141,5(\Delta t)^{1;1;\varphi_3}\} = 13,5^{1;1;\varphi_3} \\ q(t_0)^{1;1;\varphi_4} &= 110(t_{-1})^{1;1;\varphi_4} + \{45(\Delta t)^{1;1;\varphi_4} - 141,5(\Delta t)^{1;1;\varphi_4}\} = 13,5^{1;1;\varphi_4}. \end{aligned} \quad (22b)$$

$$\begin{aligned} h(t_1)^{3;3;\varphi_5} &= h(t_0)^{3;3;\varphi_5} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \delta_{i;j;\varphi_5}^{3;3;\varphi_5} g(\Delta t)^{3;3;\varphi_5}_{i;j;\varphi_5} = h(t_0)^{3;3;\varphi_5} + g(t_1)^{3;3;\varphi_5}_{3;1;\varphi_5} = h(t_0)^{3;3;\varphi_5} + \\ &+ h(t_0)^{3;1;\varphi_5} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \delta_{i;j;\varphi_5}^{3;1;\varphi_5} g(t_1)^{3;1;\varphi_5}_{i;j;\varphi_5} = h(t_0)^{3;3;\varphi_5} + h(t_0)^{3;1;\varphi_5} + h(t_0)^{1;2;\varphi_5} + g(\Delta t)^{1;2;\varphi_5}_{1;1;\varphi_4}, \quad (23) \\ h(\Delta t)^{1;2;\varphi_5} &= \{g(\Delta t)^{1;2;\varphi_5}_{1;1;\varphi_1} \cap 2g(\Delta t)^{1;2;\varphi_5}_{1;1;\varphi_2} \cap 0,7g(\Delta t)^{1;2;\varphi_5}_{1;1;\varphi_3} \cap 0,5g(\Delta t)^{1;2;\varphi_5}_{1;1;\varphi_4}\}. \end{aligned} \quad (23a)$$

По значениям операций получают количества перемещений сущностей с терминала 1;1.

В момент времени t_1 терминал 1;1 имел состояние

$Q^{1;1}(t_1) = 100^{1;1;\varphi_1} \cap 110^{1;1;\varphi_2} \cap 110^{1;1;\varphi_3} \cap 100^{1;1;\varphi_4}$. Отталкиваясь от него, состояние терминала в следующий момент $t_0 = t_1 + \Delta t$ определяется по поступлениям (21а) и изъятиям (22а) за интервал Δt в соответствии с (6) для каждой сущности (22б).

Следовательно, терминал 1;1 на момент времени t_0 будет иметь состояние: $Q^{1;1}(t_0) = 105^{1;1;\varphi_1} \cap 98^{1;1;\varphi_2} \cap 13,5^{1;1;\varphi_3} \cap 132^{1;1;\varphi_4}$.

Аналогичным образом, следуя (2), (5), (6), получается состояние остальных терминалов в результате выполнения перечисленных операций в структуре:

$$\begin{aligned} Q^{1;2}(t_0) &= 40^{1;2;\varphi_5} \cap 85^{1;3;\varphi_6}; \\ Q^{2;1}(t_0) &= 62,25^{2;1;\varphi_1} \cap 127^{2;1;\varphi_2} \cap 205^{2;1;\varphi_3} \cap 117^{2;1;\varphi_4}; \\ Q^{2;3}(t_0) &= 30^{2;3;\varphi_7} \cap 50^{2;3;\varphi_8}; \\ Q^{3;1}(t_0) &= 90^{3;1;\varphi_5} \cap 110^{3;1;\varphi_6} \cap 35^{3;1;\varphi_7}; \\ Q^{3;2}(t_0) &= 20^{3;2;\varphi_6} \cap 55^{3;2;\varphi_7} \cap 35^{3;2;\varphi_8}; \\ Q^{3;3}(t_0) &= 30^{3;3;\varphi_5} \cap 50^{3;3;\varphi_6} \cap 20^{3;3;\varphi_7} \cap 10^{3;3;\varphi_8}. \end{aligned}$$

Формальное описание операций в структуре позволяет разрабатывать автоматические системы, обеспечивающие достаточно простыми средствами структуризацию данных, отражающих функционирование структуры, под различными углами зрения.

6.2. Иллюстрация задачи принятия решения

Для иллюстрации исследования перспективы ниже уравнение вида (8а), например, для сущности φ_5 , адаптируется к введенной в примере структуре с конкретным количеством центров, терминалов, предприятий и сущностей. В структуре, показанной на рис. 1, оно приводится к виду (23), где $h(t_0)^{i;j;\varphi_5}$ – запасы сущности φ_5 , имеющиеся на терминалах i, j структуры, которые за время Δt могут быть перемещены на терминал 3;3,

$g(\Delta t)^{1;2;\varphi_5}$ – отражает объем сущности φ_5 , который может быть произведен предприятием 1;2 в течение интервала Δt из исходных сущностей $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$. Объемы сущностей $\varphi_1,$

$\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$, необходимые для производства определяются оператором производства $R^{1;2;\varphi_5}$, параметры которого представлены в табл. 2. (23а).

В (23) показана детализация содержательного существа абстрактных выражений (8), базирующихся на сжатом формальном отражении операторами перемещения и преобразования сущностей операций логистики. Развернутые для условий примера представления (23), (23а) показывают, что абстрактное описание (7)–(13) адаптацией адресной системы и состояния сущностей настраивается на отражение операций в произвольной реальной логистической структуре.

Представляющие практический интерес задачи анализа и синтеза управлений могут формулироваться для абстрактной структуры в общем виде, который предопределяет возможные математические методы и алгоритмы решения поставленных задач. Общая формальная постановка адаптируется к конкретной задаче с помощью ее конфигурации (диапазонов номеров центров, терминалов и их транспортной связности) и параметров, отражающих количественные характеристики.

Представление (23) получается из (8) подстановкой значений σ -индексов в соответствии с таблицей 3. Очевидно, что объем сущности φ_5 на терминале 3;3 в момент времени $t_1 = t_0 + \Delta t$ будет равен начальному объему $h(t_0)^{3;3;\varphi_5}$ этой сущности на терминале плюс объем, который может быть доставлен за время Δt со всех терминалов структуры. В иллюстрационной структуре этот объем отражается суммой

$$\sum_{l=1}^3 \sum_{i=1}^3 \delta_{l;3;\varphi_5}^{3;3;\varphi_5} g(\Delta t)_{l;3;\varphi_5}^{3;3;\varphi_5}.$$

В соответствии с матрицей транспортной связности в примере только $\delta_{3;1;\varphi_5}^{3;3;\varphi_5} = 1$, поэтому к начальному объему $h(t_0)^{3;3;\varphi_5}$ может быть добавлен объем с терминала 3;1, который равен начальному $h(t_0)^{3;3;\varphi_5}$ плюс все возможные перемещения на терминал 3;1. Процедура рекуррентно повторяется для всех терминалов, связанных в соответствии с табл. 2 с заданным терминалом. Разработанные формальные представления позволяют отразить все содержательные характеристики, существенные для функционирования логистической структуры.

« Представляющие практический интерес задачи анализа и синтеза управлений могут формулироваться для абстрактной структуры в общем виде, который предопределяет возможные математические методы и алгоритмы решения поставленных задач.

Возможности исследования перспективы иллюстрируются двумя простыми задачами. В первой демонстрируется определение объемов сырья, доставка которого в структуру необходима для выполнения заданного плана предприятиями структуры. Во второй демонстрируется возможность использования математических инструментов при решении задач планирования. Для достижения наглядности, как и выше, задача предельно упрощается.

В первой принимается, что план производства предприятий структуры по видам продукции задан объемами (сущностей $\varphi^5, \varphi^6, \varphi^7, \varphi^8$) и требуется, отталкиваясь от полученного выше начального состояния структуры в момент времени t_0 , определить объемы ресурсов (сущностей $\varphi^1, \varphi^2, \varphi^3, \varphi^4$), необходимые для выполнения плана. Пусть дополнительно к объемам продукции, имеющимся на момент t_0 на терминале 3;3, за период Δt надлежит произвести $G^5 = 10$ ед. φ^5 , $G^6 = 20$ ед. φ^6 , $G^7 = 30$ ед. φ^7 , $G^8 = 40$ ед. φ^8 .

Объемы сырья (в примере сущностей $\varphi^1, \varphi^2, \varphi^3, \varphi^4$) определяются по заданным объемам продукции по алгоритму (17)–(19). По параметрам операторов преобразования (табл. 2) и заданным объемам G_i необходимые объемы сырья получают прямым вычислением по (18).

На момент t_0 в конце пп. 6.1 получены остатки сырья на термина-

ле $1;1 - Q^{1;1}(t_0) = 105^{1;1;\varphi^1} \cap 98^{1;1;\varphi^2} \cap 13,5^{1;1;\varphi^3} \cap 132^{1;1;\varphi^4}$ и на терминале $2;1 - Q^{2;1}(t_0) = 62,25^{2;1;\varphi^1} \cap 127^{2;1;\varphi^2} \cap 205^{2;1;\varphi^3} \cap 117^{2;1;\varphi^4}$, что в сумме дает $167,25^{\varphi^1} \cap 225^{\varphi^2} \cap 218,5^{\varphi^3} \cap 249^{\varphi^4}$. Из сравнения имеющегося запаса сырья с потребностью для изготовления принятых объемов можно заключить, что объемы могут быть произведены без дополнительного приобретения сырья структурой.

Теперь задача слегка усложняется: требуется определить количество продукции в ассортименте сущностей $\varphi^5, \varphi^6, \varphi^7, \varphi^8$, которое может быть произведено из имеющихся в структуре запасов сырья $\varphi^1, \varphi^2, \varphi^3, \varphi^4$. Из табл. 2, определяющей параметры операторов преобразования, видно, что различные виды продукции требуют разные сочетания количеств сырья. Поэтому, в отличие от предыдущей, решение данной задачи требует применения некоторого математического аппарата.

Неизвестные объемы сущностей $\varphi^5, \varphi^6, \varphi^7, \varphi^8$ обозначаются $g(\Delta t)_{1;1;\varphi_i}^{1;2;\varphi_j}$, где верхний индекс $1;2;\varphi_j$ показывает, что (φ_j) и где $(1;2)$ производят, а нижний $1;1;\varphi_i$ – из чего производят (φ_i) и откуда его берут $(1;1)$. На основании параметров из табл. 2 получается совокупность операторов преобразования входных сущностей $\varphi^1, \varphi^2, \varphi^3, \varphi^4$ в выходные $\varphi^5, \varphi^6, \varphi^7, \varphi^8$ (24).

Как отмечалось, величины, объединяемые логической операцией $\cap$ – «И», имеют различные размер-

$$\begin{aligned} G_1 &= 1 \times 10 + 1 \times 20 + 0,8 \times 30 + 0,65 \times 40 = 80 \text{ ед. } \varphi_1, \\ G_2 &= 2 \times 10 + 3 \times 20 + 0,6 \times 30 + 0,45 \times 40 = 116 \text{ ед. } \varphi_1, \\ G_3 &= 0,7 \times 10 + 0,5 \times 20 + 1,5 \times 30 + 1 \times 40 = 102 \text{ ед. } \varphi_3, \\ G_4 &= 0,5 \times 10 + 0,4 \times 20 + 1,8 \times 30 + 3 \times 40 = 187 \text{ ед. } \varphi_4. \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} h(\Delta t)^{3;3;\varphi_5} &= g(\Delta t)_{1;1;\varphi_1}^{1;2;\varphi_5} \cap 2g(\Delta t)_{1;1;\varphi_2}^{1;2;\varphi_5} \cap 0,7g(\Delta t)_{1;1;\varphi_3}^{1;2;\varphi_5} \cap 0,5g(\Delta t)_{1;1;\varphi_4}^{1;2;\varphi_5} \\ h(\Delta t)^{3;3;\varphi_6} &= g(\Delta t)_{1;1;\varphi_1}^{1;3;\varphi_6} \cap 3g(\Delta t)_{1;1;\varphi_2}^{1;3;\varphi_6} \cap 0,5g(\Delta t)_{1;1;\varphi_3}^{1;3;\varphi_6} \cap 0,4g(\Delta t)_{1;1;\varphi_4}^{1;3;\varphi_6} \\ h(\Delta t)^{3;3;\varphi_7} &= 0,8g(\Delta t)_{2;1;\varphi_1}^{2;2;\varphi_7} \cap 0,6g(\Delta t)_{2;1;\varphi_2}^{2;2;\varphi_7} \cap 1,5g(\Delta t)_{2;1;\varphi_3}^{2;2;\varphi_7} \cap 1,8g(\Delta t)_{2;1;\varphi_4}^{2;2;\varphi_7} \\ h(\Delta t)^{3;3;\varphi_8} &= 0,65g(\Delta t)_{2;1;\varphi_1}^{2;2;\varphi_8} \cap 0,45g(\Delta t)_{2;1;\varphi_2}^{2;2;\varphi_8} \cap g(\Delta t)_{2;1;\varphi_3}^{2;2;\varphi_8} \cap 3g(\Delta t)_{2;1;\varphi_4}^{2;2;\varphi_8} \end{aligned} \quad (24)$$

« ...показана адаптация разработанной абстрактной математической модели логистической структуры к условиям реальной структуры, имеющей определенную конфигурацию и параметры.

ности, величины, стоящие в одном столбце, имеют совпадающие размерности и их можно суммировать. Выполнив транспонирование матрицы параметров, получают следующую интерпретацию (24). (25), где для простоты можно обозначить $g(\Delta t)_{1;1;\varphi_j}^{1;2;\varphi_i} = x^i$ и $g(t_0)_{1;1+2;1;\varphi_j} = b_j$ и переписать (25) в традиционной форме (25а),

$$\begin{aligned}x^5 + x^6 + 0,8x^7 + 0,65x^8 &= b_1, \\2x^5 + 3x^6 + 0,6x^7 + 0,45x^8 &= b_2, \\0,7x^5 + 0,5x^6 + 1,5x^7 + x^8 &= b_3, \\0,5x^5 + 0,4x^6 + 1,8x^7 + 3x^8 &= b_4,\end{aligned}$$

где значения и положения индексов соответствуют исходному описанию.

Система (25) иллюстрирует общие представления состояния терминалов (12) при условиях (10), к которым могут сводиться некоторые задачи принятия решения в логистике. Понятно, что системы могут иметь большие размерности, но это не меняет сущности вопроса. Система (25), при подстановке значений $b_1 = 167,25^{\varphi_1}$, $b_2 = 225^{\varphi_2}$, $b_3 = 218,5^{\varphi_3}$, $b_4 = 249^{\varphi_4}$ в соответствии с полученным выше вектором значений исходных ресурсов на момент t_0 : $Q^{1;1}(t_0) + Q^{2;1}(t_0) = 167,25^{\varphi_1} \cap 225^{\varphi_2} \cap 218,5^{\varphi_3} \cap 249^{\varphi_4}$, имеет следующее решение:

$$\begin{aligned}x^5 &= g(\Delta t)_{1;1;\varphi_j}^{1;2;\varphi_5} = 78,83; \\x^6 &= g(\Delta t)_{1;1;\varphi_j}^{1;2;\varphi_6} = 0,582; \\x^7 &= g(\Delta t)_{2;1;\varphi_j}^{2;2;\varphi_7} = 103,6; \\x^8 &= g(\Delta t)_{2;1;\varphi_j}^{2;2;\varphi_8} = 7,622.\end{aligned}$$

Прямой подстановкой можно убедиться, что оно обеспечивает полную утилизацию имеющихся на момент t_0 сущностей $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$.

$$\begin{aligned}g(\Delta t)_{1;1;\varphi_1}^{1;2;\varphi_5} + g(\Delta t)_{1;1;\varphi_1}^{1;3;\varphi_6} + 0,8g(\Delta t)_{2;1;\varphi_1}^{2;2;\varphi_7} + 0,65g(\Delta t)_{2;1;\varphi_1}^{2;2;\varphi_8} &= g(t_0)_{1;1+2;1;\varphi_1} \\2g(\Delta t)_{1;1;\varphi_2}^{1;2;\varphi_5} + 3g(\Delta t)_{1;1;\varphi_2}^{1;3;\varphi_6} + 0,6g(\Delta t)_{2;1;\varphi_2}^{2;2;\varphi_7} + 0,45g(\Delta t)_{2;1;\varphi_2}^{2;2;\varphi_8} &= g(t_0)_{1;1+2;1;\varphi_2} \\0,7g(\Delta t)_{1;1;\varphi_3}^{1;2;\varphi_5} + 0,5g(\Delta t)_{1;1;\varphi_3}^{1;3;\varphi_6} + 1,5g(\Delta t)_{2;1;\varphi_3}^{2;2;\varphi_7} + g(\Delta t)_{2;1;\varphi_3}^{2;2;\varphi_8} &= g(t_0)_{1;1+2;1;\varphi_3} \\0,5g(\Delta t)_{1;1;\varphi_4}^{1;2;\varphi_5} + 0,4g(\Delta t)_{1;1;\varphi_4}^{1;3;\varphi_6} + 1,8g(\Delta t)_{2;1;\varphi_4}^{2;2;\varphi_7} + 3g(\Delta t)_{2;1;\varphi_4}^{2;2;\varphi_8} &= g(t_0)_{1;1+2;1;\varphi_4}\end{aligned} \quad (25)$$

В рассмотренных примерах не учитывается реальная инерционность логистической структуры вследствие конечной скорости операций перемещения и преобразования сущностей. Скорость (длительность) операций в их формальное описание вводится в виде параметров, позволяющих согласовывать временной регламент операций с сущностями и отражать изменение состояний структуры во времени. Этот важный аспект функционирования логистической структуры предполагает отдельное рассмотрение.

Заключение

В работе проиллюстрированы возможности применения формальных моделей для решения прикладных задач логистики. Формально определенные операторы перемещения и преобразования сущностей позволяют использовать модель линейного пространства для описания состояния и динамики логистических структур. Приведен пример простой логистической структуры, на котором показана адаптация разработанной абстрактной математической модели логистической структуры к условиям реальной структуры, имеющей определенную конфигурацию и параметры.

На иллюстрационном примере продемонстрировано применение формальных инструментов для получения по ретроспективной информации оценок прошлой деятельности логистической структуры. Возможность исследования вариантов предстоящей деятельности иллюстрируется на двух примерах.

В первом оценивается объем сырья, необходимый для формирования поставок на выходе структуры. Во втором в заданном ассортименте оцениваются объемы сущностей, которые могут быть подготовлены для поставки на выходных терминалах структуры из имеющихся в структуре запасов сырья.

Примеры наглядно раскрывают содержание оригинальной абстрактной модели логистики и методику ее практического применения для решения задач управления логистическими структурами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Л. А. Формальный язык логистики // Логистика. – 2015. – № 10. – С. 40.
2. Кузнецов Л. А. Формализация регламента транспортных операций в логистической системе // Логистика. – 2016. – № 1. – С. 50.
3. Кузнецов Л. А. Планирование на поле бухгалтерской логистики. – Palmarium Academic Publishing, 2014. – 150 с.
4. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А. А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
5. Исследование операций: в 2-х тт. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – Т. 1. – 712 с.
6. Исследование операций: в 2-х тт. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – Т. 2. – 677 с.
7. Головина Л. И. Линейная алгебра и некоторые ее приложения. – М.: Наука, 1975. – 407 с.
8. Юдин Д. Б., Гольштейн Е. Г. Линейное программирование (теория, методы и приложения). – М.: Наука, 1969. – 424 с.
9. Вагнер Г. Основы исследования операций / Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – Т. 1. – 335 с.
10. Кузнецов Л. Управление качеством в XXI веке. – Palmarium Academic Publishing, 2012. – 538 с.
11. Кузнецов Л. А. Бухгалтерская логистика (аналитическое представление бухгалтерского учета) // Международный бухгалтерский учет. – 2014. – № 14. – С. 41–55; № 15. – С. 38–53.
12. Астахов В. П. Теория бухгалтерского учета. – Ростов н/Д.: Издательский центр «МарТ», 2002. – 448 с.