



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 I

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.

1. Введение. Ретроспектива и перспектива

Формальное представление сущностей и операций в логистической системе [1, 2] позволяет синтезировать ее общую математическую модель. Вычислительные возможности компьютеров стимулировали описание динамических объектов методом пространства состояний. В нем движение объектов отражается значениями вектора состояния объекта в непрерывном или дискретном времени. В вектор состояния объекта включают координаты, значения которых полностью характеризует состояние исследуемого объекта.

Состояние логистической системы как объекта управления полностью характеризуется объемами физических сущностей, находящихся на складах системы, которые и могут быть приняты в качестве переменных состояний. Входными величина-



Вычислительные возможности компьютеров стимулировали описание динамических объектов методом пространства состояний. В нем движение объектов отражается значениями вектора состояния объекта в непрерывном или дискретном времени.

ми логистической системы являются внешние добавления или изъятия объемов сущностей и их перемещение внутри структуры, приводящие к изменению состояний. Выходными величинами являются различные характеристики эффективности функционирования логистической структуры, определяемые на множестве состояний.

Математическая модель необходима для решения задач управления, которые базируются на прогнозе пер-

спективных состояний в зависимости от вариации входных воздействий. На рис. 1 продемонстрирована разница между задачами анализа ретроспективы и проектирования предпочтительной перспективы [3].

Для анализа ретроспективы используют значения состояний, имевшие место на временном интервале, предшествовавшем актуальному моменту времени. При исследовании перспективы сопоставляют значения состояний, которые могут иметь

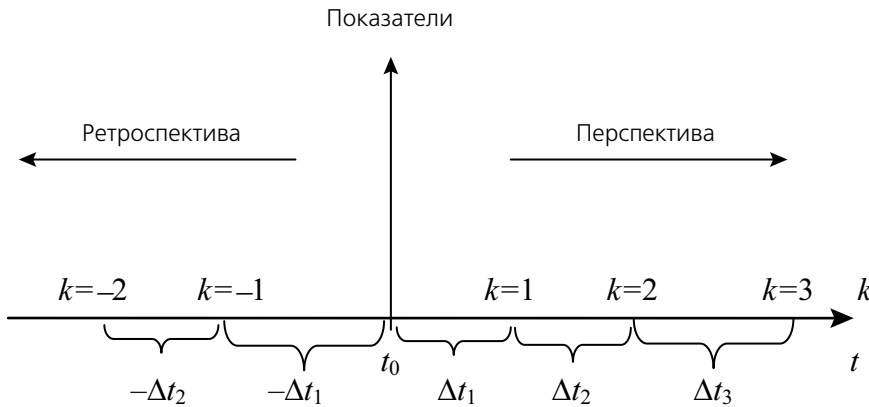


Рисунок 1. Временной регламент исследования прошлых и будущих состояний логистической структуры: t – непрерывное время, k – дискретное время

место в будущем, отталкиваясь от актуального состояния при различных наборах входных воздействий. Задача управления состоит в выборе такого набора внешних воздействий (в части, зависящей от нашего желания), при котором будущие состояния максимально приближаются к предпочтительным (оптимальным) значениям [4–6]. Эффективность решений задачи управления, их практическая пригодность всецело зависит от адекватности модели, используемой для прогноза будущих значений состояний системы.

Пусть t – время и t_0 – текущий (актуальный) момент времени. Как показано на рис. 1, для отражения движения сущностей в логистической структуре может быть введена последовательность заданных полуинтервалов времени Δt_k , $k = 1, 2, \dots$, так что $t_k = t_{k-1} + \Delta t_k$, $k = 1, 2, \dots$. Пусть левая граница входит в полуинтервал, а правая не входит, т.е. $t_{k-1} \in \Delta t_k$, $t_k \notin \Delta t_k$. Полуинтервалы $\pm \Delta t_k$ не обязательно должны быть равными, их величина выбирается в зависимости от целей исследования: дни, декады, месяцы и т.д. Так что в реальности $-\Delta t_k$ соответствуют, например, конкретные месяцы прошлой, а $+\Delta t_k$ – будущей деятельности. На практике чаще используют равные интервалы времени. В этом случае можно записать общее выражение для моментов времени, соответствующих концам интервалов:

$$t_{\pm k} = t_0 + (\pm k)\Delta t, k = 1, 2, \dots \quad (1)$$

Нетрудно увидеть, что при $k = 1, 2, 3, \dots$ будут получаться будущие моменты времени $t_k = t_0 + k\Delta t$, а при $k = -1, -2, -3, \dots$ моменты прошедшего времени $t_{-k} = t_0 - k\Delta t$.

2. Отражение ретроспективы

Состояния логистической системы – объемы различных сущностей – могут измеряться в масштабах соответствующих физических величин или в денежном масштабе, см. (2) в [1]. Использование физических масштабов может оказаться необходимым при решении задач выбора перспективы (управления), в которых требуется определять согласованные физические объемы перемещения сущностей. После выполнения транспортных и производственных операций их представление в стоимостном масштабе обеспечивает возможность учета и оценки эффективности функционирования логистической структуры по принципам бухгалтерского учета. Хотя выбор масштаба не является принципиальным вследствие однозначного соответствия между ними, для наглядности при отражении ретроспективы используется стоимостное представление величин, а при описании перспективы они предполагаются измеренными в масштабах физических величин.

Выражение (10) в [1] отражает в физическом масштабе совокупный объем $q(\Delta t)^{c_p:r_g;\Phi_j}$ сущности Φ_j , перемещенный на терминал r_g центра c_p системы в период времени Δt со всех других терминалов системы и извне. Здесь для наглядности запишем (10) в денежном масштабе:

$$b(\Delta t)^{c_p:r_g;\Phi_j} = \sum_{t \in \Delta t} \left\{ \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^{I_l} \delta_{c_l:r_i;\Phi_j}^{c_p:r_g;\Phi_j} a(t)^{c_p:r_g;\Phi_j} + \sum_{n=1}^{N_k} \delta_{c_{0n};\Phi_j}^{c_p:r_g;\Phi_j} a(t)^{c_p:r_g;\Phi_j} \right\}. \quad (2)$$

Напомним, как было принято в [1, 2], буквами $a(t)$, $b(t)$, $c(t)$ обозначают числа – известные значения стоимости соответствующих величин в момент времени t , а буквами $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ – переменные величины стоимости, принимающие вещественные значения. В физическом масштабе известные объемы обозначают $q(t)$, а переменные величины – объемы сущностей – $g(t)$, $h(t)$.

Выражение (2) отражает совокупную стоимость сущности Φ_j , перемещенной на терминал r_g центра c_p системы с других ее терминалов и извне за период времени Δt . Благодаря представлению объемов всех сущностей в едином денежном масштабе их можно суммировать и находить общие стоимостные характеристики заполненности терминалов и центров. Приход различных сущностей Φ_j , $j = 1, 2, \dots, N$ на терминал r_g центра c_p за время Δt получается суммированием (2) по всем видам сущностей:

$$b(\Delta t)^{c_p:r_g} = \sum_{j=1}^N b(\Delta t)^{c_p:r_g;\Phi_j},$$

$$p \in [1, L], g \in [1, I_p]. \quad (3)$$

Стоимость сущностей, перемещенных в центр p за время Δt , получается суммированием (3) по всем терминалам центра:

$$b(\Delta t)^{c_p} = \sum_{g=1}^{I_p} b(\Delta t)^{c_p:r_g},$$

$$p \in [1, L], \quad (4)$$

где I_p – количество терминалов в центре c_p .

Перемещения сущностей с терминалов определяются такими же выражениями, суммирование в которых производится по верхним индексам, отражающим адреса всех терминалов, на которые поступили объемы сущности, изъятые с выбранного терминала. Изъятия сущности Φ_j с терминала r_i центра c_i будут равны:

$$b(\Delta t)_{c_i:r_i;\Phi_j} = \sum_{t \in \Delta t} \left\{ \sum_{p=1}^L \sum_{g=1}^{I_p} \delta_{c_i:r_i;\Phi_j}^{c_p:r_g;\Phi_j} a(t)^{c_p:r_g;\Phi_j} + \sum_{n=1}^{N_k} \delta_{c_i;r_{0n};\Phi_j}^{c_i:r_i;\Phi_j} a(t)^{c_i:r_i;\Phi_j} \right\}. \quad (5)$$

Суммированием (5) по соответствующим индексам получаются выражения, аналогичные (3) для изъятий с терминала и аналогичные (4) для изъятия из центра. По начальным запасам сущностей на терминалах

и разности между поступлениями на терминалы и изъятиями с них за интервал времени Δt по (12) из [1] находятся состояния запасов на момент времени $t_{-1} = t_0 - \Delta t$.

$$\begin{aligned} d(t_{-1})^{c_p; r_g; \Phi_j} &= d(t_0)^{c_p; r_g; \Phi_j} - \\ &- \{b(\Delta t)^{c_p; r_g; \Phi_j} - b(\Delta t)^{c_p; r_g; \Phi_j}\} = \\ &= d(t_0)^{c_p; r_g; \Phi_j} + \\ &+ \{b(\Delta t)^{c_p; r_g; \Phi_j} - b(\Delta t)^{c_p; r_g; \Phi_j}\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Подобные (6) формулы, выражающие состояния в предшествующие моменты времени, могут быть получены на основании приходов и расходов в форме (3) для терминалов и центров. Использование δ -индексов в (2) позволяет автоматически синтезировать выражения вида (6) по общему шаблону, следуя формальным правилам.

На последовательности прошлых интервалов времени $-\Delta t_k$, $k = 1, 2, \dots$ вся деятельность структуры известна, в учете имеются значения величин, отражающие выполненные операции по перемещению сущностей. По формулам (2)–(6) на основании имеющихся значений могут быть вычислены все количественные показатели, необходимые для оценки эффективности деятельности структуры и ее актуального состояния.

3. Описание перспективы и задачи управления

Основное предназначение математической модели логистической структуры состоит в разработке алгоритмов управления перспективой. В этом случае известны начальное (актуальное) состояние структуры, ее параметры и внешние условия, отталкиваясь от которых прогнозируются будущие состояния. Используя модель, требуется найти такое управление (план перевозок, распределение сущностей по терминалам, поступление их в структуру и выдачу из нее), которое приводит к будущему состоянию, обеспечивающему оптимальное значение заданному критерию.

Рассмотрим математическую модель логистической структуры для управления перспективной деятельностью. Будущие значения величин неизвестны, поэтому в выражениях (2)–(6) будут фигурировать не числа q , a , b , d , а переменные величины

x , y , z в денежном масштабе и g , h в физическом масштабе измерения. Определение значений переменных величин, удовлетворяющих некоторым условиям, является целью решения задач управления. Выражения (2)–(6) в задачах управления из формул превращаются в уравнения, связывающие переменные величины, отражающие состояние структуры.

Пусть, как и раньше, t – время, t_0 – начальный (актуальный) момент времени и T – горизонт планирования. Для отражения проектируемой логистики движения сущностей горизонт разбивается на последовательность заданных полуинтервалов времени Δt_k , $k = 1, 2, \dots$, так что $t_k = t_{k-1} + \Delta t_k$, $k = 1, 2, \dots K$. Начальный момент времени t_0 задан, состояние предприятия в этот момент отражает начальные условия – состояния всех терминалов и центров.

Система терминалов может трактоваться системой координат, значения которых определяются объемами ресурсов, имеющихся на терминалах. При решении задач, связанных с будущими периодами времени, объемы сущностей на терминалах и их перемещения являются переменными величинами, которые могут принимать свои значения в заданных пределах в зависимости от состояния структуры, внешних условий и содержательной постановки задачи. Все показатели, характеризующие деятельность логистической структуры, выражаются через перемещаемые объемы сущностей, отражаемые на ее терминалах.

Математическая модель структуры должна описывать процесс определения ее будущих состояний, возникающих на основании начальных условий и внешних воздействий. Внешние воздействия состоят из двух компонентов: возмущения, формируемого независимо от структуры, и управления, формируемого структурой. Задача управления состоит именно в определении управления, обеспечивающего эволюцию логистической структуры по заданной траектории.

Для демонстрации инвариантности разработанного формального описания логистических структур к выбору масштаба в данном пункте предполагается представление объемов сущностей в масштабах соответствующих физических величин. Представление в таком масштабе позволяет описывать непосредственно реаль-

ные соотношения между объемами сущностей при их преобразованиях в производственных процессах.

Пусть $h^{c_p; r_g; \Phi_j}(t_0)$ обозначает объем сущности Φ_j на терминале r_i центра c_i в момент времени t_0 . Объем этой сущности в любой следующий момент времени $t_1 = t_0 + \Delta t_1$ будет равен:

$$\begin{aligned} h^{c_i; r_j; \Phi_j}(t_1) &= h^{c_i; r_j; \Phi_j}(t_0) + \\ &+ \left(h^{c_i; r_j; \Phi_j}(\Delta t_1) - h^{c_i; r_j; \Phi_j}(\Delta t_1) \right), \end{aligned} \quad (7)$$

где i – номер центра, $i \in [1, L]$, L – количество центров; l – номер терминала; $l \in [1, L]$, L_l – количество терминалов в центре i ; j – номер сущности; $j \in [1, N]$, N – количество сущностей; $h^{c_p; r_g; \Phi_j}(\Delta t_1)$ – соответственно приход сущности Φ_j на терминал r_i центра c_i за время Δt_1 ; $h^{c_p; r_g; \Phi_j}(\Delta t_1)$ – расход сущности Φ_j с терминала r_i центра c_i за промежуток времени Δt_1 .

Соотношения (7) могут быть записаны для всех сочетаний индексов. Благодаря введенным [1–3] формальным обозначениям приход и расход могут формироваться автоматически в виде сумм всевозможных перемещений на терминал и с терминала, произведенных в этот интервал времени:

$$\begin{aligned} h(\Delta t_1)^{c_i; r_j; \Phi_j} &= \\ &= \sum_{\tau \in \Delta t_1} \left\{ \sum_{n=1}^L \sum_{m=1}^{L_l} \delta_{c_n; r_m; \Phi_j}^{c_i; r_j; \Phi_j} g(\tau)^{c_i; r_j; \Phi_j} + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{v=1}^{N_k} \delta_{c_k; \Phi_j}^{c_i; r_j; \Phi_j} g(\tau)^{c_i; r_j; \Phi_j} \right\}, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} h(\Delta t_1)_{c_i; r_j; \Phi_j} &= \\ &= \sum_{\tau \in \Delta t_1} \left\{ \sum_{n=1}^L \sum_{m=1}^{L_l} \delta_{c_i; r_j; \Phi_j}^{c_n; r_m; \Phi_j} g(\tau)^{c_n; r_m; \Phi_j} + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{v=1}^{N_k} \delta_{c_i; r_j; \Phi_j}^{c_k; \Phi_j} g(\tau)^{c_k; \Phi_j} \right\}. \end{aligned} \quad (9)$$

Фактически в уравнениях (8), (9) будут представлены все отличные от нуля компоненты $g(\tau)^{c_i; r_j; \Phi_j}$, при которых $\delta_{c_k; \Phi_j}^{c_i; r_j; \Phi_j} = 1$. Объемы перемещений $g(\tau)^{c_i; r_j; \Phi_j}$ в (8), (9) являются переменными величинами, которые должны удовлетворять этим уравнениям. Дадим краткое пояснение содержательного существа уравнений (7)–(9). Понятно, что в (7) подставляются (8) и (9), так что (7) представляет уравнение, отражающее изменение объема сущности Φ_j на заданном терминале за период Δt_1 . Начальное значение объема известно $q[\Phi_j(t_0)]$. Значение $g[\Phi_j(t_1)]$, которое нужно

иметь в момент t_1 , либо задано конкретным числом:

$$g[\varphi_j(t_1)] = q[\varphi_j(t_1)], \quad (10)$$

либо определена желательная тенденция его изменения:

$$g[\varphi_j(t_1)] \rightarrow \max \text{ или } g[\varphi_j(t_1)] \rightarrow \min. \quad (11)$$

В варианте (10) выражение (7) после подстановки в него (8) и (9) приводится к виду:

$$\begin{aligned} & \sum_{\tau \in \Delta t} \sum_{n=1}^I \sum_{m=1}^{Li} \left\{ \delta_{c_n; r_m; \varphi_j}^{c_i; r_j; \varphi_j} g(\tau)_{c_n; r_m; \varphi_j}^{c_i; r_j; \varphi_j} - \right. \\ & \quad \left. - \delta_{c_i; r_j; \varphi_j}^{c_n; r_m; \varphi_j} g(\tau)_{c_i; r_j; \varphi_j}^{c_n; r_m; \varphi_j} \right\} + \\ & + \sum_{\tau \in \Delta t} \left\{ \sum_{v=1}^{N_0} \delta_{c_o; \varphi_j}^{c_i; r_j; \varphi_j} g(\tau)_{c_o; \varphi_j}^{c_i; r_j; \varphi_j} - \right. \\ & \quad \left. - \sum_{v=1}^{N_k} \delta_{c_i; r_j; \varphi_j}^{c_k; \varphi_j} g(\tau)_{c_i; r_j; \varphi_j}^{c_k; \varphi_j} \right\} = \\ & = q(t_1)_{c_i; r_j; \varphi_j} - g(t_0)_{c_i; r_j; \varphi_j}, \quad (12) \end{aligned}$$

где $g(t_0)_{c_i; r_j; \varphi_j}$ и $q(t_1)_{c_i; r_j; \varphi_j}$ – значения объема сущности φ_j на терминале r_j центра c_i в моменты времени t_0 и t_1 .

Правая часть в (12) является числом, отражающим величину, на которую необходимо изменить за время Δt_1 объем сущности φ_j на терминале r_j центра c_i . Левая часть представляет линейную комбинацию переменных, отражающих всевозможные варианты перемещения этой сущности как на заданный терминал, так и с терминала. Первая фигурная скобка отражает перемещения внутри структу-

“ **Математическая модель структуры должна описывать процесс определения ее будущих состояний, возникающих на основании начальных условий и внешних воздействий.**

ры, вторая перемещения на границе структуры с внешней средой. Значения δ -индексов предполагаются определенными матрицей связности, так что переменными в правых частях будут объемы только терминалов, соответствующих сущности φ_j и разрешенным перемещениям. Для каждой сущности, представляющей интерес в задаче планирования, может быть записано уравнение (12). Совокупность уравнений (12) образует систему линейных уравнений, посредством которой могут быть определены требования к различным комбинациям перемещений, т.е. к значениям переменных $g(\tau)_{c_i; r_m; \varphi_j}^{c_i; r_j; \varphi_j}$, $\varphi_j, j = 1, 2, \dots, N$.

Формулы (3), (4) при описании перспективы также превращаются в уравнения, которые связывают перемещения сущностей на заданном интервале времени некоторыми условиями по загрузке определенных компонентов структуры: терминалов, центров или их комбинаций. Таким образом, планируемые перемещения сущностей описываются системой неоднородных линейных уравнений

вида (12). Независимыми переменными в системе являются перемещения сущностей. Столбец свободных членов системы уравнений отражает желательное состояние терминалов, центров или их комбинаций.

Систему уравнений при определенных условиях (см., например, [7]) можно решить и найти перемещения ресурсов в планируемый промежуток времени, которые обеспечат выполнение всех требований, заданных столбцом свободных членов. Но, учитывая множество разнообразных и, как правило, противоречивых требований, система может оказаться противоречивой, не имеющей единственного решения. В этом наиболее вероятном случае может быть использован вариант (9б), позволяющий получить не точное, а приближенное решение, которое с учетом имеющихся ограничений максимально приближает заданные функции (функционал) к точному решению.

Вариант (11) используется для отыскания решения, обеспечивающего максимально возможное при-





ближение значений $g^{c_p, r_g, \Phi_j}(t_1)$ к желательным значениям $q^{c_p, r_g, \Phi_j}(t_1)$, при соблюдении заданных ограничений на область определения величин g^{c_p, r_g, Φ_j} . В этом варианте уравнения (12) трансформируются в неравенства вида:

$$\begin{aligned} & \sum_{t \in \Delta t} \sum_{n=1}^L \sum_{m=1}^{L_i} \left\{ \delta_{c_n, r_m, \Phi_j}^{c_i, r_j, \Phi_j} g(t)_{c_n, r_m, \Phi_j} - \right. \\ & \quad \left. - \delta_{c_i, r_j, \Phi_j}^{c_n, r_m, \Phi_j} g(t)_{c_i, r_j, \Phi_j} \right\} + \\ & + \sum_{t \in \Delta t} \left\{ \sum_{v=1}^{N_0} \delta_{c_o, r_j, \Phi_j}^{c_i, r_j, \Phi_j} g(t)_{c_o, r_j, \Phi_j} - \right. \\ & \quad \left. - \sum_{v=1}^{N_0} \delta_{c_i, r_j, \Phi_j}^{c_o, r_j, \Phi_j} g(t)_{c_i, r_j, \Phi_j} \right\} \leq \\ & \leq q(t_1)_{c_i, r_j, \Phi_j} - g(t_0)_{c_i, r_j, \Phi_j}, \quad (13) \end{aligned}$$

комбинацией которых с учетом знакоопределенности величин $q(t_1)_{c_i, r_j, \Phi_j}$ и $g(t_0)_{c_i, r_j, \Phi_j}$ можно описать все ограничения на перемещения в период Δt_1 и требования к объемам сущностей на терминалах на момент времени Δt_1 .

Как известно, обеспечение требования (11) реализуется в виде задачи условной оптимизации функции многих переменных, которая формально сводится к отысканию значений переменных, доставляющих экстремум функционалу, отражающему смысл оптимизации, при ограничениях на область определения и, возможно, область решений задачи. Область определения отражает ограничения на независимые переменные (состояния системы), а область решений – ограничения на выходные величины.

Для логистической структуры цель решения (11) может быть представлена линейной комбинацией некоторых функций от объемов сущностей на терминалах, например, в виде:

$$F(g) = \sum_{\mu=1}^M \beta_{\mu} f_{\mu} \{g^{c_i, r_j, \Phi_j}(t_1), i \in [1, I], l \in [1, Li], j \in [1, N]\} \Rightarrow \text{extr} \quad (14)$$

где $f_{\mu} \{g^{c_i, r_j, \Phi_j}(t_1), i \in [1, I], l \in [1, Li], j \in [1, N]\}$ – некоторые функции от независимых переменных – объемов g^{c_i, r_j, Φ_j} перемещаемых сущностей $j \in [1, N]$ на терминалах $l \in [1, Li]$ центров $i \in [1, I]$ в логистической структуре, а β_j – параметры (весовые коэффициенты), которые в отражают приоритеты переменных величин (сущностей и их положения в структуре), входящих в критерий.

Цели и показатели эффективности функционирования логистической структуры выражаются функциями $f_{\mu} \{g^{c_i, r_j, \Phi_j}(t_1)\}$ через объемы и перемещения сущностей на ее терминалах. Относительная значимость компонентов критерия задается параметрами β .

Различный содержательный смысл критерию (14) может придаваться вариацией функций от переменных величин и параметров, которые могут отражать ценовые характеристики перемещения и хранения сущностей. Это позволяет критерием вида (14) описывать различные аспекты функционирования логистической структуры. Например, размещение определенных сущностей $\Phi_j, j \in [j_1, j_2, \dots, j_p]$ заданным образом на множестве $G(i, l)$ терминалов r_i центров c_i может отражаться критерием вида:

$$F(g) = \sum_{i, l, j \in G_{\max}} \beta_{i, l, j} g^{i, l, j}(t_1) + \sum_{i, l, j \in G_{\min}} \beta_{i, l, j} g^{i, l, j}(t_1) \rightarrow \max, \quad (15)$$

где $G_{\max}$ обозначает множество адресов сущностей, которые должны быть максимально заполнены; уровень заполнения отражается ограничениями вида (11), показывающими, что поступления на терминалы превышают изъятия; $G_{\min}$ обозначает множество терминалов, максимально освобожденных от сущностей, на которых изъятия сущностей превышают их поступления.

Критерий (15) при ограничениях типа (13) на переменные определяет стандартную задачу линейного программирования, которая может ре-

шаться известными методами [8, 9]. Формулы (3), (4) при рассмотрении перспективы также превращаются в уравнения относительно переменных и могут быть использованы для описания требований к размещению сущностей по терминалам центров логистической структуры.

Продолжение статьи
в № 10 журнала «ЛОГИСТИКА»
за 2016 год.

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.