



УДК 656, 004.89, 510.67

*Я.А. Селиверстов, С.А. Селиверстов*

## **О ЛОГИКО-АЛГЕБРАИЧЕСКОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

*Ya.A. Seliverstov, S.A. Seliverstov*

### **ABOUT LOGICAL-ALGEBRAIC DESCRIPTION OF THE TRANSPORT LOGISTIC PROCESS**

Проведен анализ предметной области. Дано логико-алгебраическое представление транспортно-логистической системы, с единых позиций введены формальные описания элементарной операции, транспортно-логистической операции, транспортно-логистического процесса. Семантика транспортно-логистического процесса интерпретирована логикой исчисления предикатов. Интеллектуализация транспортно-логистической системы связана с самоорганизацией транспортно-логистического процесса и с автоматным поиском решений в пространстве его состояний. Адекватность модели продемонстрирована на практическом примере.

ЛОГИКО-АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ; ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ; ЛОГИКА ПРЕДИКАТОВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА; ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННЫЕ МОДЕЛИ.

Analysis of the publications on the subject of the article is carried out in the article. A logical and algebraic description of the transport and logistics system is being given, a formal description of the unit operations, transport and logistics operations, transportation and logistics process are introduced. Semantics of the transport logistics operation is interpreted by logic of the predicate calculus. Intellectualization of the transport logistics system is associated with self-organization of the transport logistics process and with automatic search of solutions in the space of states. The adequacy of the model is demonstrated by the practical example.

LOGIC-ALGEBRAIC MODELS OF TRANSPORT PROCESSES; INTELLECTUALIZATION TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM; THE FIRST-ORDER PREDICATE LOGIC; SET-THEORETIC MODELS.

Тема статьи находится на пересечении ряда актуальных научно-практических направлений: транспорта, логистики, кибернетики, непосредственно касающихся проблем оптимальной организации транспортно-логистической системы (ТЛС) [1–3] и интеллектуализации процессов производства, хранения, транспортировки и распределения материальных потоков [3–5].

Одним из магистральных направлений развития ТЛС является их всесторонняя интеллектуализация.

Развитие спутниковых систем связи, информационных и компьютерных технологий [6], аппаратной реализации функций управления процессами в ТЛС, приближение средств обработки информации к месту ее возникновения, свидетельствуют о движении к использованию принципов са-

моорганизации в управлении ТЛС и принципов автоматического поиска решений в пространстве их состояний.

Концептуальные основы построения самоорганизующихся транспортных систем (ТС) рассмотрены в [7, 8], технология анализа транспортных процессов (ТП) в [9], принципы построения экспертных систем в [10], но применительно к ТЛС, принадлежащим к неизмеримо более широкому классу больших систем, даже не затрагивались. Тем более не ставилась задача определения единого математического инструмента описания поведения ТЛС, что ведет не только к сокращению издержек на проектирование и имитационное моделирование поведения ТЛС, но и к алгоритмической и структурной однородности самих систем.

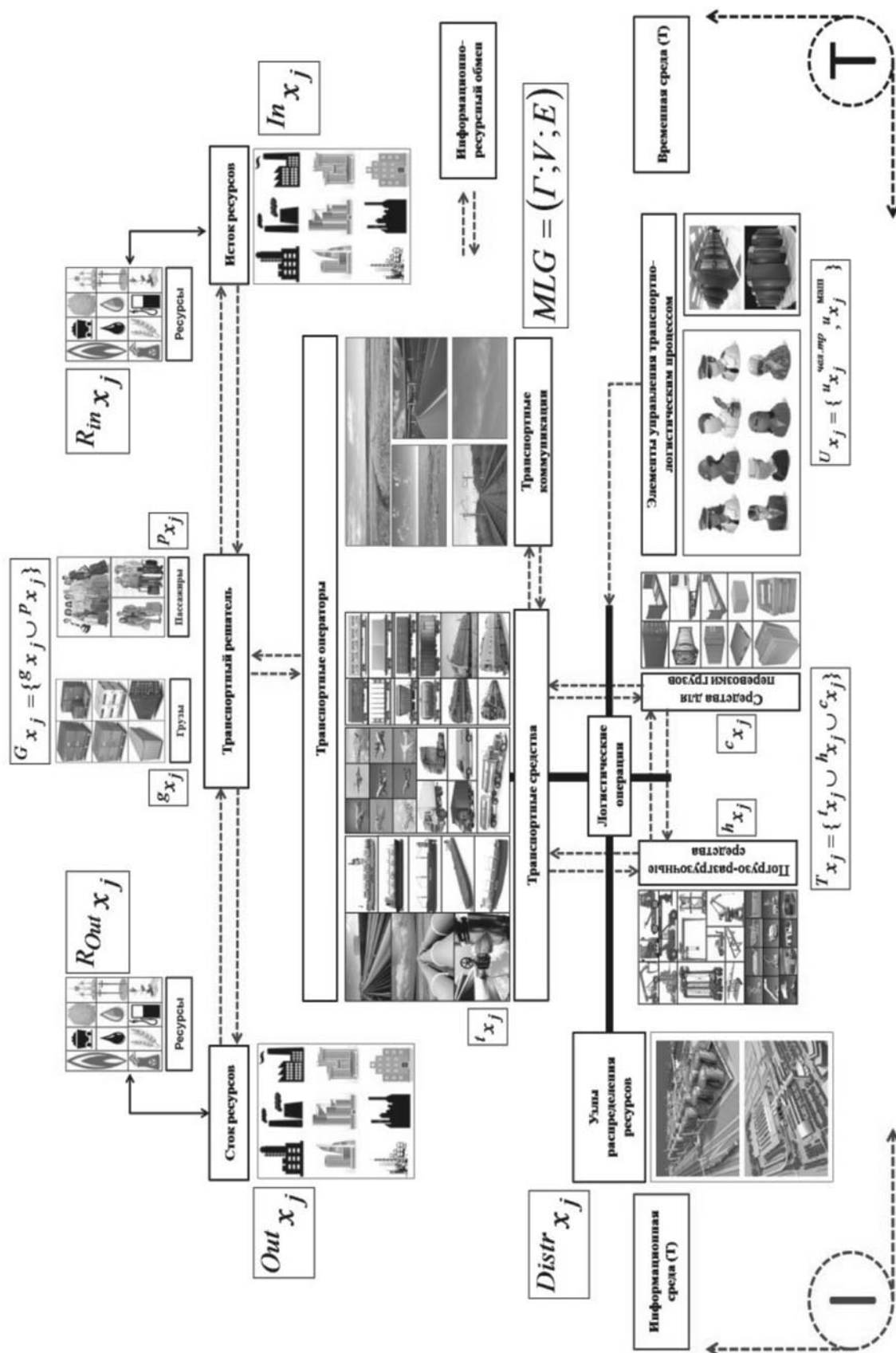


Рис. 1. Формальное представление ТЛС

Выбор логико-алгебраического представления вызван стремлением формально описать реальные процессы [11], протекающие в ТЛС. Структурное построение подобных моделей выполняется согласно [12], разрешение проблем прагматики и семантики модели - согласно [13] с использованием лингвистической концепции [12, 14], при этом достигается адекватность модели исходной предметной области и определенный автоматизм ее составления.

Этому, по-существу, и посвящена настоящая работа, и изложение ее сути уместно начать с определения концептуальной модели ТЛС как отправной точки в построении систем любой сложности.

**Формальное представление транспортно-логистической системы.** Опираясь на теорию отношений [1], ТЛС (рис 1) отождествляется с погруженной в информационную  $I$  и временную  $T$  среды тройки объектов  $X, W, L$ , то есть

$$TLS : (\langle X, W, L \rangle)_T, \quad (1)$$

где  $X = \{x_j, j = 1, \dots, m\}$  - функциональное ресурсное множество;  $W = \{Y, U_L^Y\}$  - нагруженное множество операций, такое что

$Y = \{y_i, i = 1, \dots, n\}$  - множество операций;

$U_L^Y = \left\{ u_i^{y_i}, i = 1, \dots, n \right\}$  - множество условий

выполнения операций;  $L:W \rightarrow X$  множество отображений, обеспечивающих оборот ресурсов в ТЛС.

Оставляя за скобками поэлементное разукрупнение ТЛС (с ее подробным изложением можно познакомиться в [15, 16]), приступим к формальному описанию транспортно-логистических процессов (ТЛП).

**Элементарная операция.** Под элементарной операцией (ЭО) над ресурсом будем понимать действие, приводящее к изменению состояния ресурса, в отношении которого оно осуществляется.

Данное определение в логико-алгебраической форме записи представим в виде следующего выражения:

$$y_i(S_j^{k_1}) \rightarrow S_j^{k_2}. \quad (2)$$

Структурно процесс формирования ЭО представлен схемой на рис. 2.

Пусть каждой ЭО  $y_i(S_{j=1}^k; S_{j=2}^k)$  соответствует множество  $\{u_i^{y_i}\}$  условий ее выполнения:

$$y_i(S_{j=1}^k; S_{j=2}^k) \rightarrow \{u_i^{y_i}\}. \quad (3)$$

Пусть каждому ресурсу  $x_j$  соответствует множество  $S_j^k$  его состояний или фаз:

$$x_j \rightarrow S_j^k = \{S_j^k, k = 1, \dots, K\}. \quad (4)$$

Поскольку выполнение ЭО зависит от наличия соответствующих ресурсов, определяемых множеством состояний  $S_j^k$ , условие согласования ресурсов и операций можно представить выражением:

$$|u_i^{y_i} \cap S_j^k| \leq 1, \quad (5)$$

где скобки  $| \dots |$  означают мощность (или меру) множества  $u_i \cap S_j^k$ , соответствующую тому, что каждое множество  $u_i^{y_i}$  содержит не более одной фазы (состояния) из каждого множества  $S_j^k$ , т. е. каждый ресурс в фиксированный момент времени практически не может находиться более чем в одном состоянии или в одной фазе.

Таким образом, состояние ресурса или его фаза может быть пропорциональна интервалу или моменту времени, в котором рассматривается ресурс:

$$k \sim [\tau_{\text{def}} \vee (\tau_i; \tau_{i+1})], \quad (6)$$

где  $\tau_{\text{def}}$  - определенный момент времени;  $(\tau_i; \tau_{i+1})$  - определенный интервал времени.

Согласно предложенному определению ЭО (рис. 3), действие приводит к изменению состояния ресурса, при этом процесс



Рис. 2. Процесс формирования ЭО

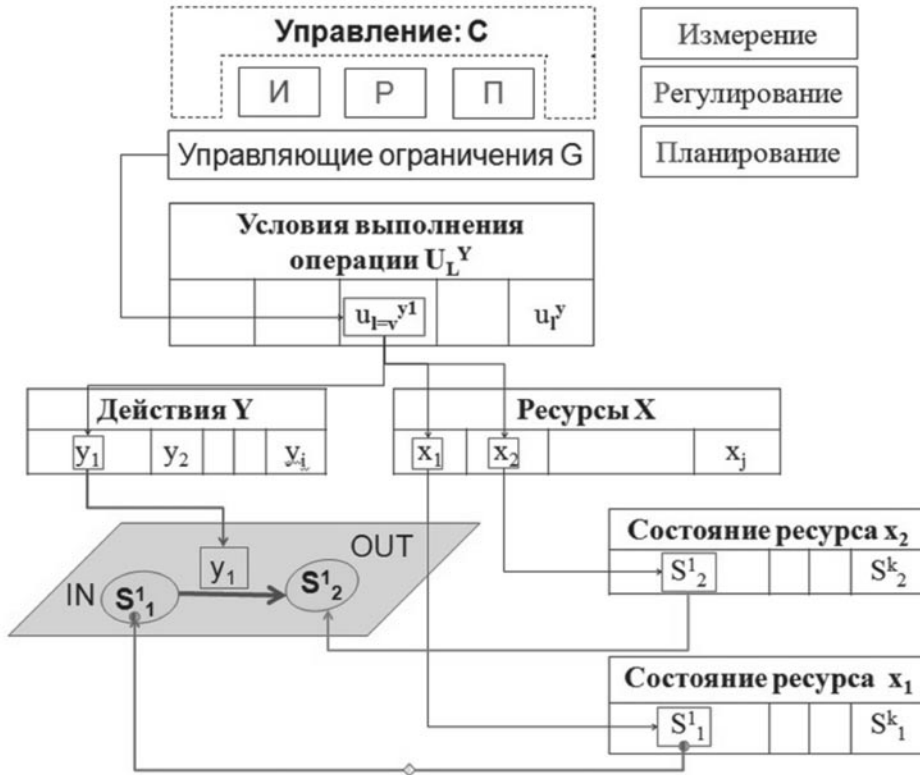


Рис. 3. Процедура формирования ЭО

организации и выполнения ЭО протекает в пространстве и времени, является целенаправленным и связан с наличием некоторого функционала управления  $C$  [9], удовлетворяющего заданному множеству ограничений  $G$ , накладываемых на входные  $IN$  и выходные  $OUT$  параметры ЭО, и критерию качества управления  $Q_m$ :

$$C : IN \xrightarrow[G]{Q_m} OUT$$

$$G = \bigcup_{i=1}^n G_i, \quad Q_m = \bigcup_{j=1}^m Q_j, \quad (7)$$

$$IN = \{S_j^{k=m}; u_i^{y=a}\}, \quad OUT = \{S_j^{k=n}; u_i^{y=b}\}.$$

Роль параметров  $IN$  и  $OUT$  играют соответственно значения интегральных показателей состояния ресурса и условий выполнения в виде реальных или прогнозных значений весовых коэффициентов, а параметр  $Q_m$  является интегральной величиной, характеризующей качество управления ЭО.

Процедура формирования ЭО операции образно отображена на рис. 3.

**Транспортно-логистическая операция.** Транспортно-логистическая операция (ТЛО) – определенным образом организованная во времени последовательность выполнения действий, позволяющая достигнуть заданных показателей этого процесса. Процесс формирования ТЛО условно представлен на рис. 4.

Пусть для выполнения ТЛО всегда имеются и доступны в любой момент времени необходимые ресурсы и возможность выполнения действий над ними.

Тогда, предполагая наличие у каждого состояния ресурса двух модальностей («наличие ресурса» ( $s_j^k$ ) и «отсутствие оно» ( $\neg s_j^k$ )) и определяя конъюнкции на множествах  $U_L^Y$ , операционный процесс можно представить формулой  $F_i^{kf}$  в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ) в виде:

$$F_i^{kf} = \bigvee_{l=1}^L \bigwedge_{j=1}^m S_{ij}^k, \quad (8)$$



Рис. 4. Процесс формирования ТЛО

$$F_i^{kf} = \underbrace{[(s_j^k, \dots, \neg s_j^k) \wedge (s_j^k, \dots, \neg s_j^k)]}_{S_{i1}^k} \vee \dots \vee \underbrace{[(s_j^k, \dots, \neg s_j^k) \wedge (s_j^k, \dots, \neg s_j^k)]}_{S_{il}^k}, \quad (9)$$

где  $S_{ij}^k$  – реализующее операционное множество;  $kf$  – состояние операции;  $\left(\bigvee_{l=1}^L\right)$  – связка ИЛИ не исключает возможности выполнения одной и той же операции разным соотношением ресурсов.

Выражение (8) будем называть условием работоспособности операционного процесса или первым условием работоспособности ТЛО.

Приписывая значение «ИСТИНА» соответствующему литералу из множества  $S_{il}^k$ , получим, что первое условие работоспособности (9) эквивалентно тавтологичности формулы  $F$  [17].

**Транспортно-логистический процесс.** Транспортно-логистический процесс – определенным образом организованная во



Рис. 5. Процесс формирования ТЛП

времени последовательность выполнения ТЛО, позволяющая достигнуть заданных показателей ТЛС.

Процесс формирования ТЛП представлен на рис. 5.

Пусть для выполнения ТЛП существует и всегда доступен набор необходимых операций  $F_i^{kf}$ , определяемых в (7), тогда операционный процесс можно представить формулой  $L_p^{kp}$  в ДНФ в виде

$$L_p^{kp} = \bigvee_{c=1}^c \bigwedge_{i=1}^n F_i^{kf}, \quad (10)$$

$$L_p^{kp} = [ (F_{i=1}^{kf}, \dots, F_{i=h}^{kf}) \wedge (F_{i=2}^{kf}, \dots) ] \vee \dots \vee [ (F_{i=1}^{kf}, \dots, F_{i=m}^{kf}) \wedge (F_{i=5}^{kf}, \dots, F_{i=l}^{kf}) ], \quad (11)$$

где  $\left( \bigvee_{c=1}^c \right)$  – логическая связка ИЛИ не исключает возможности выполнения одного и того же процесса разным соотношением операций, а на множестве  $L_p^{kp}$  задан полный строгий порядок  $F_i^{kf}$ ;  $kp$  – состояние ТЛП.

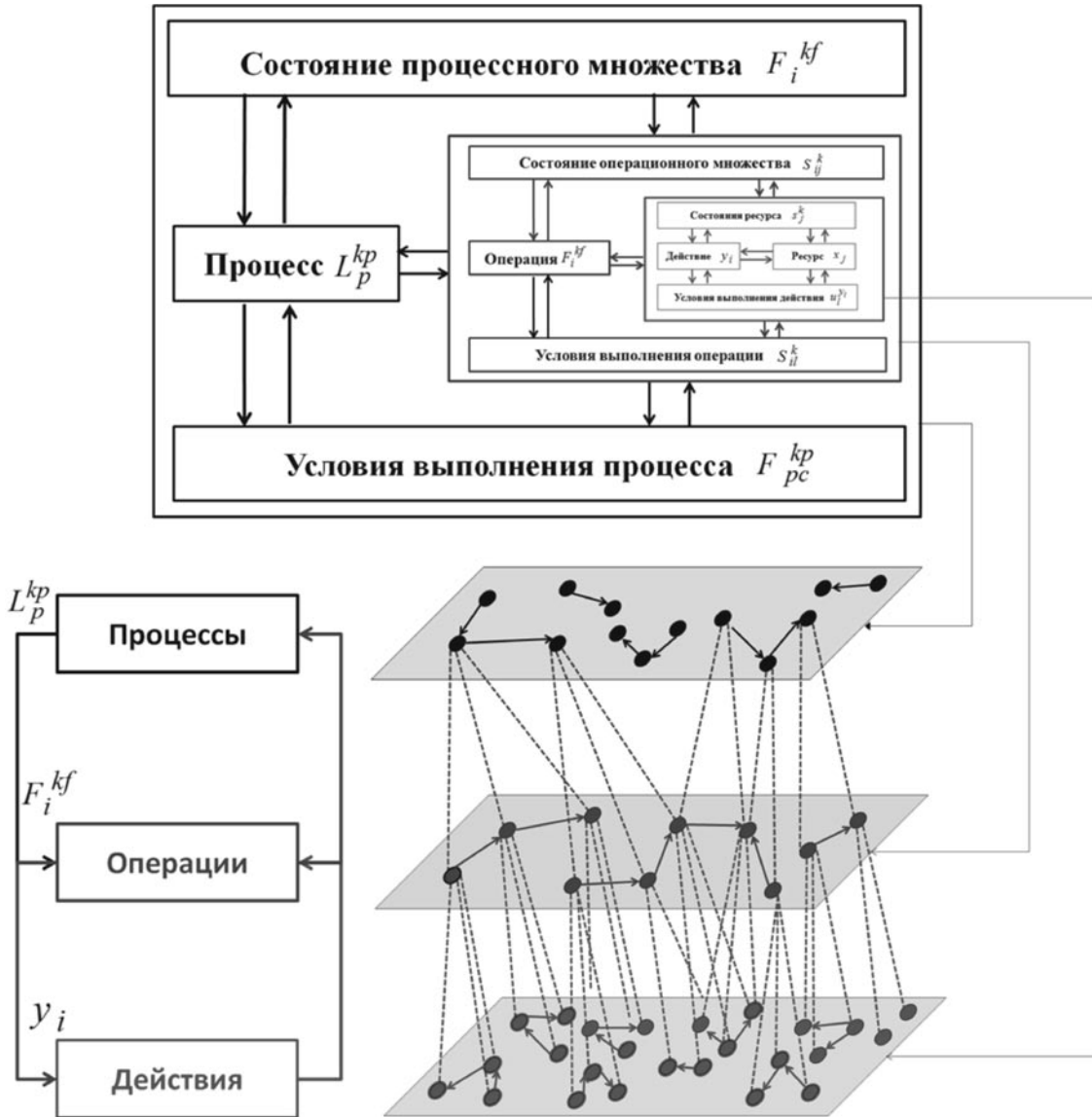


Рис. 6. Концептуальная структура ТЛП

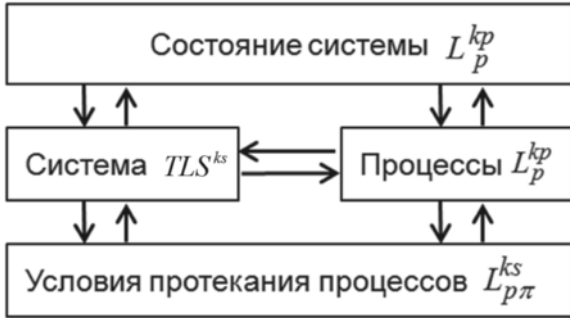


Рис. 7. Устойчивая работа ТЛС

Отношение строгого порядка на  $L_p^{kp}$  задает порядок следования операций  $F_i^{kp}$ .

Приписывая значения «ИСТИНА» соответствующему литералу из множества  $F_{pc}^{kp}$ , получим, что второе условие устойчивой работоспособности ТЛП эквивалентно тавтологичности формулы  $L_p^{kp}$  [17].

Схема концептуальной структуры ТЛП представлена на рис. 6.

**Организация ТЛП в ТЛС.** Под устойчивой работой ТЛС будем понимать определенным образом организованную во времени последовательность протекания ТЛП, направленную на сохранение и повышение устойчивости ТЛС, определяемой ее функцией полезности.

Процесс поддержания устойчивой работы ТЛС представлен на рис. 7.

Пусть для устойчивой работы ТЛС, определяемой функцией полезности  $\Phi(\phi_1, \dots, \phi_n)$ , существует возможность организации протекания необходимого множества ТЛП  $L_p^{kp}$ , определяемых в (10), (11). Тогда устойчивую работу ТЛС можно представить формулой  $TLS_p^{ks}$  в ДНФ в виде:

$$\begin{aligned}
 TLS^{ks} &= \bigvee_{\pi=1}^N \bigwedge_{p=1}^n L_p^{kp} \rightarrow \\
 &\rightarrow TLS \langle \max \Phi(\phi_1, \dots, \phi_n) \rangle,
 \end{aligned}
 \quad (12)$$

$$\begin{aligned}
 TLS_p^{ks} &= [ (L_{p=1}^{kp}, \dots, L_{p=h}^{kp}) \wedge (L_{p=2}^{kp}, \dots, ) \vee \dots \\
 &\dots \vee [ (L_{p=1}^{kp}, \dots, L_{p=m}^{kp}) \wedge (L_{p=5}^{kp}, \dots, L_{p=1}^{kp}) ],
 \end{aligned}
 \quad (13)$$

где  $\left( \bigvee_{\pi=1}^N \right)$  – логическая связка «ИЛИ» не исключает возможности обеспечения устой-

чивой работы ТЛС, разным соотношением протекающих ТЛП.

Приписывая значение «ИСТИНА» соответствующему литералу из множества  $L_{p\pi}^{ks}$ , получим, что третье условие устойчивой работоспособности ТЛС также эквивалентно тавтологичности формулы  $TLS_p^{ks}$ .

Схема концептуальной структуры ТЛС представлена на рис. 8.

Помимо линейной записи, формулы (8)–(13) могут быть представлены балансовым соотношением, не только способствующим встраиванию логистических моделей в модели экономики логистического процесса, но и открывающим путь к решению задачи его самоорганизации. Балансовое соотношение, эквивалентное первому условию работоспособности ТЛС (8), примет вид:

$$F_i^{kf} \sim Z^{F_i^{kf}}(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}^k \times q_i, \quad (14)$$

где  $Z(t)$  – количество ресурсов, требуемое для выполнения логистических операций в момент времени  $t$ ;  $q_i$  – интенсивность  $i$ -й операции.

Опираясь на соотношение (14), можно построить  $n \times m$  матрицу  $A$  с элементами

$$A_{ij} = \begin{cases} a_{ij}^k, & \text{если } (S_{ij}^k \in u_i^{y_i}) \wedge (S_{ij}^k = s_j^k), \\ -a_{ij}^k, & \text{если } (S_{ij}^k \in u_i^{y_i}) \wedge (S_{ij}^k = \neg s_j^k), \\ 0, & \text{если } S_{ij}^k \cap u_i^{y_i} = \varnothing \end{cases} \quad (15)$$

и записать соотношение (16) в привычной линейной форме

$$Z = A \times q. \quad (16)$$

Эта форма устойчиво разрешима, если соответствующая ей формула  $F$  тавтологична. Причем она разрешима при любом изменении матрицы  $A$ , сохраняющем схему расположения знаков [17]. Тогда смысл самоорганизации логистического процесса будет заключаться в том, что при заданных значениях количеств ресурсов  $Z$ , рекомендуемых для выполнения системы  $W$ , интервалов изменения коэффициентов  $a_{ij}^k$  и интенсивностей операций  $q_i$  отыскиваются такие величины коэффициентов  $a_{ij}^k$ , которые удовлетворяли бы балансовому соотношению. В основу же процедуры поиска

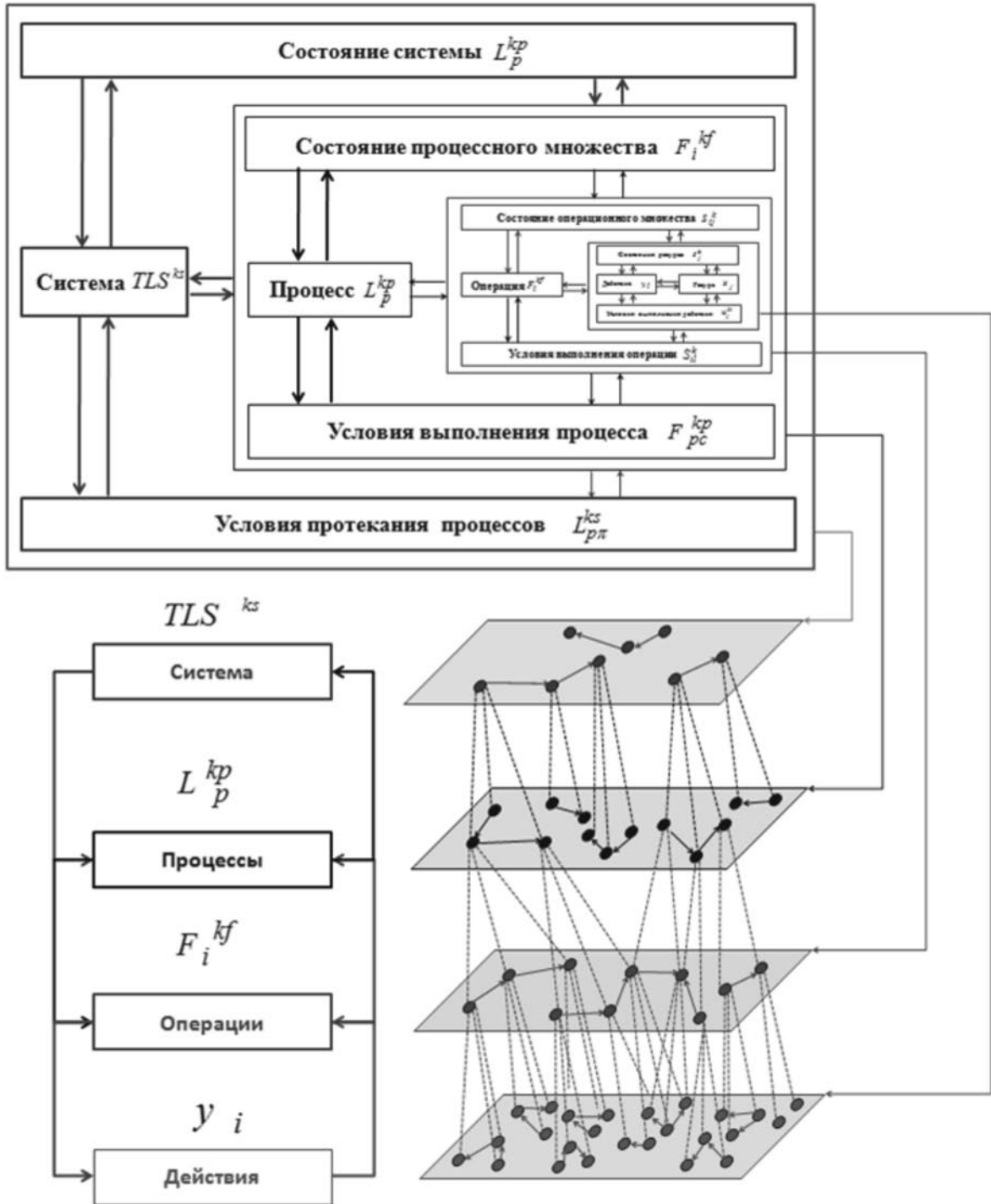


Рис. 8. Концептуальная структура ТЛС

удобно положить метод многомерной последовательной оптимизации, рассмотренный в [9].

**Пример.** Рассмотрим пример, поясняющий балансовое соотношение (14).

Пусть требуется определить рекомендуемое количество ресурсов, необходимых для доставки на склад груза вида  $k$ , за время  $t = 4$  ч. Временные ограничения на операцию по доставке груза на склад составляют



$t_1 \leq 1$  ч, а по его укладке  $t_2 \leq 3$  ч. Множество ресурсов  $\{x_j, j = 1, \dots, 10\}$ , множество свойств ресурсов  $\{atr_{ij}^k\} = \{\dots, p_{j,j}^i, \dots\}$  считаются заданными.

Интенсивность выполнения операций по доставке и укладке груза выбираем исходя из временных ограничений, тогда  $q_1 = 1, q_2 = 2$ . Соотношение (14) запишем в виде:

$$Z(t) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}^k \times q_i = (1_{1,1}^1(x_1) + 1_{1,6}^1(x_6)) \times 1 + (1_{2,4}^2(x_4) + 1_{2,10}^2(x_{10})) \times 3,$$

где  $x_1$  – сидельный тягач с полуприцепом;  $x_6$  – водитель сидельного тягача;  $x_4$  – штабелер;  $x_{10}$  – оператор штабелера.

Визуально процесс поиска рекомендуемых ресурсов для выполнения ТЛО, предусмотренных условиями задачи, отражен на рис. 9.

Приведенная интерпретация ТЛП в ТЛС в логико-алгебраическом исчислении хорошо ложится в русло построения экспертных [18] и интеллектуальных систем на транспорте, ранее рассмотренных в [15,16], а возможность представления формул

$F_i^{kf}, L_p^{kp}, TLS^{ks}$  семантическим деревом [19] обеспечивает рациональное использование компьютерной памяти при имитационном моделировании ТЛП в случае погружения этого дерева в управляющую среду.

Примененные в имитационном моделировании поведения реальных логистических систем рассмотренной ресурсно-операционной модели ТЛП дают возможность проигрывать различные варианты их организации с целью выбора наиболее экономичного из них и использовать наработанную ранее в [1] методологию имитационного моделирования применительно к ТП. Для компьютерной интерпретации семантических деревьев могут подойти автоматы с ассоциативной организацией [20, 21].

Поставленные в настоящей статье задачи принципиально решены. В качестве математического аппарата выбрано логико-алгебраическое исчисление, позволившее описать процессы, происходящие как в экспертных системах, так и в системах с управляемой самоорганизацией ТЛП, и перебросить мост в наработанную ранее в

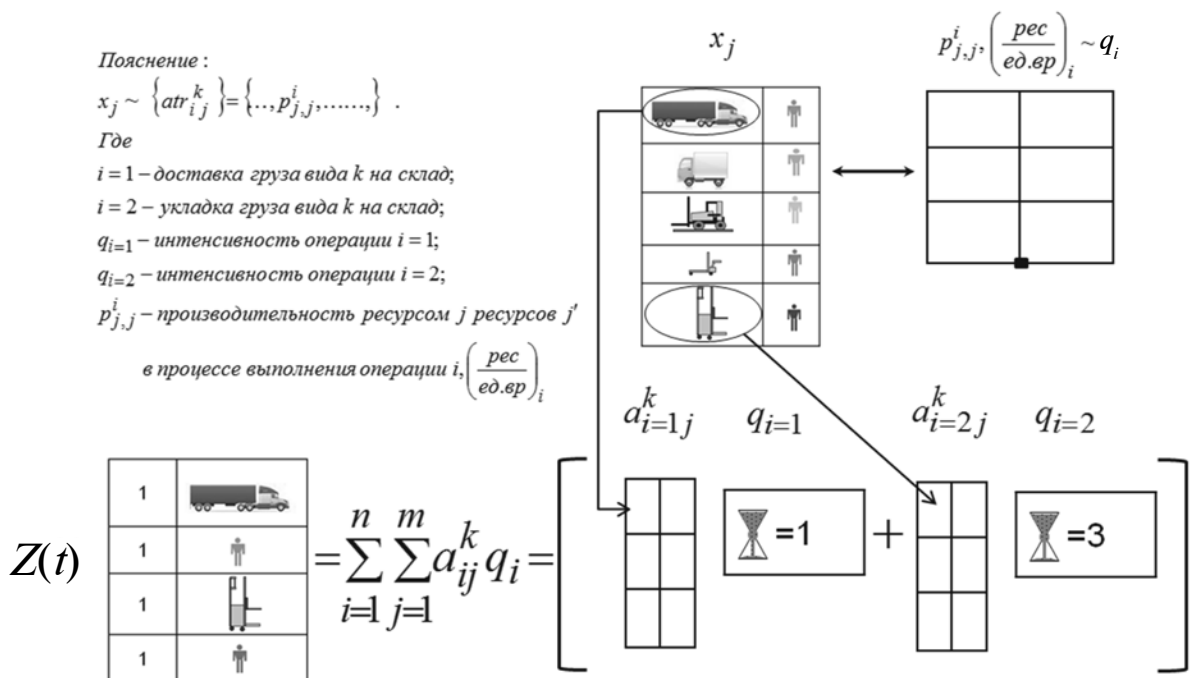


Рис. 9. Процедура поиска ресурсов для выполнения ТЛО

[9] методологию построения самоорганизующихся ТС.

В рамках исчисления предикатов правомерен переход к исчислению нечетких логических переменных в интуиционистских и модальных логиках со сложной семанти-

кой, наиболее адекватно отражающих поведение реальных ТЛП.

Работа проведена при поддержке Комитета по науке и высшей школе Санкт-Петербурга в 2013 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белый О.В., Кокаев О.Г., Попов С.А.** Архитектура и методология транспортных систем. Монография. СПб.: «Элмор», 2002. 256 с.
2. **Takyi Harriet, Kofi Poku, Emmanuel Kwaben Anin.** Logistics Inefficiencies of Urban Transportation System in Ghana // *International J. of Humanities and Social Science*. 2013. Vol. 3 No. 6.
3. **Villarreal B., Cortez E., Carrales G., Novelo P., González D.** Improving performance through Logistics Strategies // *International Business & Economics Research J*. 2009. Vol. 8. No. 3.
4. **Селиверстов Я.А.** Моделирование процессов распределения и развития транспортных потоков в мегаполисах // *Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ»*. 2013. № 1. С. 43–49.
5. **Linet Özdamar, Ediz Ekinci, Beste Küçükyazici.** Emergency Logistics Planning in Natural Disasters // *Annals of Operations Research*. Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands, 2004. No. 129. Pp. 217–245.
6. **Фахми Ш.С., Цыцулин А.К.** Видео-системы на кристалле: новые архитектурные решения в задачах обработки видеoinформации // *Датчики и системы*. 2011. № 4. С. 58–62.
7. **Селиверстов С.А., Кокаев О.Г., Лукомская О.Ю.** О технологии анализа транспортных процессов в современных условиях хозяйствования // *Транспорт Российской Федерации*. 2012. № 2(39). С. 30–34.
8. **Davydenko I.Y., Lorant A. Tavasszy, Hans Quak.** A quantitative model for exploration of logistics sprawl of the future // *5-th International Urban Freight Conference METRANS*. Long Beach, 2013
9. **Кокаев О.Г., Лукомская О.Ю.** Самоорганизация транспортных процессов: модели и приложения // *Транспорт Российской Федерации*. 2009. № 1(20). С. 40.
10. **Giarratano J.C., Riley G.D.** Expert Systems: Principles and Programming // *Course Technology*. Boston, 2004. 856 p.
11. **Таранцев А.А.** Случайные величины и работа с ними: учебно-метод. пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. СПб.: ИД «Петрополис», 2011. 160 с.
12. **Кузин Л.Т.** Математические основы кибернетики: учеб. пособие для вузов // *Основы кибернетики*. В 2 т. Т. 1. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1994. 576 с.
13. **Вельдер С.Э., Лукин М.А., Шальто А.А., Яминов Б.Р.** Верификация автоматных программ. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. 242 с.
14. **Richard W. Kaye.** *The Mathematics of Logic*. Cambridge University Press, 2007. 204 p.
15. **Лукинский В.С. [и др.]**. Модели и методы теории логистики: учеб. пособие. СПб.: Питер, 2003. 219 с.
16. **Гусев С.А.** Интеллектуализация логистики. Саратов: Изд-во СГТУ, 2013. 204 с.
17. **Davydov G, Davydova I.** Tautologies and positive solvability of homogeneous systems. // *Annals of Pure and Applied Logic*. 1992. Vol. 57. No. 1.
18. **Селиверстов Я.А.** Использование правила резолюций в вопросно-ответной процедуре транспортного планировщика // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова*. 2013. № 1 (20). С. 145–152.
19. **Russell S., Norvig P.** *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, 2003. 1018 p.
20. **Hui Yu, Furao Shen, Osamu Hasegawa.** A Multidirectional Associative Memory Based on Self-organizing Incremental Neural Network // *Neural Information Processing. Models and Applications Lecture Notes in Computer Science*. 2010. Vol. 6444. Pp 344–351.
21. **Афанасьев А.Н., Войт Н.Н.** Интеллектуальная обучающая система концептуальному проектированию автоматизированных систем // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2010. № 4(2). Т. 12. С. 465–468.

## REFERENCES

1. **Belyy O.V., Kokayev O.G., Popov S.A.** *Arkhitektura i metodologiya transportnykh sistem.* St. Petersburg: Elmor Publ., 2002, 256 p. (rus)
2. **Takyi Harriet, Kofi Poku, Emmanuel Kwaben Anin.** Logistics Inefficiencies of Urban Transportation System in Ghana, *International Journal of Humanities and Social Science*, 2013, Vol. 3, No. 6.
3. **Villarreal B., Cortez E., Carrales G., Novelo P., González D.** Improving performance through Logistics Strategies, *International Business & Economics Research Journal*, 2009, Vol. 8, No. 3.
4. **Seliverstov Ya.A.** Modelirovaniye protsessov raspredeleniya i razvitiya transportnykh potokov v megapolisakh, *Izvestiya SPbGETU «LETI»*, 2013, No. 1, Pp. 43–49. (rus)
5. **Linat Özdamar, Ediz Ekinci, Beste Küçükyazici.** Emergency Logistics Planning in Natural Disasters. *Annals of Operations Research*, Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands, 2004, No. 129, Pp. 217–245.
6. **Fakhmi Sh.S., Tsytulin A.K.** Videosistemy na kristalle: novyye arkhitekturnyye resheniya v zadachakh obrabotki videoinformatsii, *Datchiki i sistemy*, 2011, No. 4. Pp.58–62. (rus)
7. **Seliverstov S.A., Kokayev O.G, Lukomskaya O.Yu.** O tekhnologii analiza transportnykh protsessov v sovremennykh usloviyakh khozyaystvovaniya, *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 2012, No. 2(39), Pp. 30–34. (rus)
8. **Davydenko I.Y., Tavasszy L.A., Quak H.** A quantitative model for exploration of logistics sprawl of the future, *5-th International Urban Freight Conference METRANS Proc.*, Long Beach, 2013.
9. **Kokayev O.G., Lukomskaya O.Yu.** Samoorganizatsiya transportnykh protsessov: modeli i prilozheniya, *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 2009, No. 1(20), 40 p. (rus)
10. **Giarratano J.C., Riley G.D.** Expert Systems: Principles and Programming, *Course Technology*, Boston, 2004, 856 p.
11. **Tarantsev A.A.** *Sluchaynyye velichiny i rabota s nimi*, St. Petersburg, Petropolis Publ., 2011, 160 p. (rus)
12. **Kuzin L.T.** Matematicheskiye osnovy kibernetiki, *Osnovy kibernetiki*. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1994, Vol. 1, 576 p. (rus)
13. **Velder S.E., Lukin M.A., Shalyto A.A., Yaminov B.R.** *Verifikatsiya avtomatnykh programm*, St. Petersburg: SPbGU ITMO Publ., 2011, 242 p. (rus)
14. **Richard W. Kaye.** *The Mathematics of Logic*, Cambridge University Press, 2007, 204 p.
15. **Lukinskiy V.S. i dr.** Modeli i metody teorii logistiki. St. Petersburg: Piter Publ., 2003, 219 p. (rus)
16. **Gusev S.A.** *Intellektualizatsiya logistiki*. Saratov: SGTU Publ., 2013, 204 p. (rus)
17. **Davydov G., Davydova I.** Tautologies and positive solvability of homogeneous systems, *Annals of Pure and Applied Logic*, 1992, Vol. 57, No. 1.
18. **Seliverstov Ya.A.** Ispolzovaniye pravila rezolyutsiy v voprosno-otvetnoy protsedure transportnogo planirovshchika, *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, 2013, No. 1(20), Pp. 145–152. (rus)
19. **Russell S., Norvig P.** *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, 2003. 1018 p.
20. **Hui Yu, Furoo Shen, Osamu Hasegawa.** A Multidirectional Associative Memory Based on Self-organizing Incremental Neural Network, *Neural Information Processing. Models and Applications Lecture Notes in Computer Science*, 2010, Vol. 6444, Pp. 344–351.
21. **Afanasyev A.N., Voyt N.N.** Intellektualnaya obuchayushchaya sistema kontseptualnomu proyektirovaniyu avtomatizirovannykh sistem, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2010, No. 4 (2), Vol. 12, Pp. 465–468. (rus)

---

**СЕЛИВЕРСТОВ Ярослав Александрович** – научный сотрудник Института проблем транспорта имени Н.С. Соломенко РАН.

199178, Россия, Санкт-Петербург, 12-я линия ВО, д. 13.

E-mail: maxwell\_8-8@mail.ru

**SELIVERSTOV, Yaroslav A.** *Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences.*

199178, 12th line 13, of Vasilievsky Island, St. Petersburg, Russia.

E-mail: maxwell\_8-8@mail.ru

**СЕЛИВЕРСТОВ Святослав Александрович** – *научный сотрудник Института проблем транспорта имени Н.С. Соломенко.*

199178, Россия, Санкт-Петербург, 12-я линия В.О., д. 13.

E-mail: amuanator@rambler.ru

**SELIVERSTOV, Svyatoslav S.** *Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian Academy of Sciences.*

199178, 12-th line of Vasilievsky Island 13, St. Petersburg, Russia.

E-mail: amuanator@rambler.ru