УДК 656.13

© В. А. Демин, канд. техн. наук, доцент
(Научно-образовательный центр инновационных
технологий в логистике (МАДИ))
E-mail: demin@ccl-logistics.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-1-146-151

© V. A. Demin, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Scientific and educational center of innovative
technologies in logistics (MADI))
E-mail: demin@ccl-logistics.ru

КОНЦЕПЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КАК ПОДСИСТЕМЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

THE CONCEPT OF THE ANALYTIC MODEL OF MANAGEMENT IN THE TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM AS A SUBSYSTEM OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM

Представленная концепция модели управления транспортно-логистических систем (ТЛС) основана на предположении, что ТЛС и её элементы можно создавать и модернизировать, используя и совмещая модели динамических систем и методы многокритериальной оптимизации как интегрированные динамические системы. При этом управление в ТЛС должно: формировать модели грузопотоков с учетом месторасположения транспортно-складского комплекса в границах исследуемой или проектируемой системы, оптимизировать движения партий грузов по заданным критериям эффективности, вырабатывать оптимальные траектории движения грузов с помощью методов аналитического моделирования; определять требуемые мощности элементов ТЛС. Применение метода динамического программирования как метода оптимизации управления в ТЛС позволяет реализовать одновременный учёт значительного количества показателей в решаемой экстремальной задаче, заменяя последовательным определением каждого из них (по ряду критериев) в зависимости от условий состояния среды работы ТЛС на данный момент времени. Аналитическое решение многокритериальной задачи оптимизации управлений в ТЛС в совокупности с применением цифровых технологий позволяет проектировать и модернизировать ТЛС как подсистемы интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова: транспортно-логистическая система, грузовые перевозки, транспортно-складской комплекс, динамическое программирование, системы управления, цифровые технологии.

The presented concept of the transport and logistics system (TLS) management model is based on the assumption that the TLS and its elements can be created and upgraded using and combining the models of dynamic systems and methods of multi-criteria optimization as integrated dynamic systems. The management of TLS is supposed to generate models of traffic flows taking into account the location of the transport-warehouse complex in the examined or designed system. The other task is to optimize traffic loads according to the specified criteria of effectiveness, produce optimum trajectory of movement of goods using the methods of analytical modeling, and determine the required power of the TLS elements. Application of the dynamic programming method as a method of TLS management optimization allows for simultaneous accounting of values of a significant number of indicators in the extreme problem which is solved replacing the sequential definition of each of them (on a number of criteria), depending on the conditions of the environment of the TLS at a given time. Analytical solution of the multi-criteria problem of TLS management optimization in conjunction with the use of digital technologies allows designing and upgrading the TLS as a subsystem of intelligent transport systems.

Keywords: transport and logistics system, cargo transportation, transport and warehouse complex, dynamic programming, control systems, digital technologies.

Введение. Модель современной системы управления в транспортно-логистической системе (ТЛС) имеет сложную многоуровневую и многокомпонентную структуру [1, 2]. Поэтому

причинно-следственные связи в системе перевозочного процесса в ТЛС с развитой инфраструктурой транспортно-складских комплексов (ТСК) должны быть формализованы наличием

адекватного математического описания, оптимизирующего выработку рациональных решений по формированию единого комплекса взаимодействия эксплантатов транспортной инфраструктуры (автотранспортных предприятий, ТСК и др.) в рамках интеллектуальной транспортной системы (ИТС). Концепция создания аналитической модели управления в ТЛС должна формировать процесс управления в ней как отдельный сервисный домен или подсистему ИТС, реализуемую в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011¹. Данный стандарт предусматривает на полное развитие ИТС создание 11 сервисных доменов. Рассмотрим некоторые из них.

1. *Информирование участников движения* — обеспечение пользователей ИТС статической и динамической информацией о состоянии транспортной сети, включая модальные перемещения. Концепция модели ТЛС сопряжена с сервисными группами данного домена «Дотранспортное информирование», «Информирование в процессе передвижения», «Прокладка маршрутов и навигация перед поездкой».

2. *Грузовые перевозки* — управление коммерческими перевозками, перемещением грузов и соответствующим транспортным парком, ускорение разрешительных процедур для грузов на национальных и юридических границах, ускорение кросс- и мультимодальных перемещений грузов с полученными разрешениями, включая сервисную группу «Организация и управление дорожным движением».

Управление в ТЛС как подсистеме ИТС требует разработки алгоритмов на аналитических формализованных инструментах принятия решений для автоматизации процессов планирования, организации и управления грузопотоками. Разрабатываемые алгоритмы должны базироваться на нижеследующих положениях.

1. Алгоритм — это упорядоченная совокупность решений обоснованного множества ситуационных задач, связанных общей целью: организацией функционирования ТЛС, позволяющей оптимизировать исследуемый процесс.

2. Неотъемлемая часть алгоритма — обязательное наличие технологий контроля за состо-

янием параметров и показателей исследуемых процессов (обратная связь). Связь с единым информационным центром (сервером), позволяющая своевременно передавать и получать информацию, что делает доступным оперативное планирование всеми участниками процесса, в том числе при возникновении изменений и сбоев на отдельных участках цепи.

3. Цикл транспортного процесса в ТЛС следует рассматривать не как систему многофазового массового обслуживания дискретного типа с конечным множеством состояний, а как дискретную динамическую систему, функционирующую в условиях недостаточности информации или неопределённого состояния среды, требующую для оценки её эффективности применения аппарата методов многокритериального динамического программирования [3].

4. В зависимости от целей, а соответственно, и задач прогнозирования процесса критерии эффективности в сети могут принципиально отличаться как для различных участков ТЛС, так и для одного участка при изменении состояния внешней среды, определяемой дискретными состояниями во времени параметров транспортно-складского обслуживания (ТСО) и грузовых автомобильных перевозок (ГАП).

5. Решение задач оптимизации должно основываться на построении множества эффективных планов, оптимальных по Парето для отдельных участков ТЛС в зависимости от степени важности или доминирования того или иного критерия [4, 5].

6. В алгоритме решения задач ТЛС важен не только вариант решения задачи, но его возможная эффективность. Поэтому при решении поставленных задач необходимо реализовывать методы, позволяющие не только находить адекватные решения, но и давать им количественную оценку по нескольким критериям эффективности.

Принципиальная схема модели ТЛС как подсистемы ИТС приведена на рис. 1.

Учитывая положения разработанной концепции управления в ТЛС как подсистеме ИТС, разрабатываемая модель должна быть основана на многокритериальном аналоге принципа динамического программирования, причем технология синтеза полных совокупностей эффективных

¹ ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011. Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Ч. 1. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы.

Рис. 1. Принципиальная схема модели транспортно-логистической системы как подсистемы ИТС

оценок обеспечивается при определении частных эффективной оценок. Как известно, в основе метода динамического программирования лежит принцип последовательного анализа процесса, изменяющегося во времени. Как правило, при определении рекуррентных соотношений динамического программирования определяется концепция дискретной управляемой системы и синтезируется оптимальная траектория последовательных решений, что позволяет строить оптимальные траектории грузодвижения [6].

Применяя метод динамического программирования как метод оптимизации в ТЛС, мы реализуем одновременный учет значений большого количества показателей ТСО и ГАП в решаемой экстремальной задаче, заменяя последовательным определением каждого из них (по ряду критериев) в зависимости от условий состояния среды работы ТЛС на данный момент времени. Поэтому процедура определения значений переменных в разрабатываемой модели управления ТЛС может трактоваться как многоэтапный про-

цесс управления интегрированной системой показателей ТСО и ГАП.

Методика. Пусть каждому ТСК в ТЛС соответствует множество возможных состояний и управление в системе реализуется пошагово (дискретно) после определения эффективного решения и применении его в качестве одного из конечного числа возможных воздействий. Естественно, что конечным результатом последовательных воздействий будет изменение качественного состояния ТЛС, оцениваемое по заданным критериям.

Начальное состояние системы считается заданным на момент начала работы системы. Традиционно дискретная управляемая система ТЛС для однокритериальной модели (по критерию удельные затраты) формализуется и определяется по формуле

$$\Omega = \{D; x_0; F; V(x), f(x, v), s(x, v)\}, \quad (1)$$

где D — конечное множество возможных состояний ТЛС;

F — множество финальных состояний параметров ТСА и ГАП, $x_0 \in D$, $x_0 \notin F$, $F \subset D$;

$V(x)$ — конечное множество состояний управлений выбором направления перемещения груза ($x \in D|F$);

$f(x, v)$ — функция переходов перемещения грузов (из состояния x под воздействием управления v система переходит в состояние $f(x, v)$, ($x \in D|F$), $v \in V(x)$, $f(x, v) \in D$;

$s(x, v)$ — функция удельных затрат на производство технологических процессов в ТЛС, ($x \in D|F$), $v \in V(x)$, значения удельных затрат считаются неотрицательными.

Тогда оптимальной траектории перемещения грузов (T) в системе ТЛС (Ω) соответствует конечная последовательность состояний $T = \{x^0, x^1, x^2, \dots, x^n\}$, если выполняется условие

$$x^t = f(x^{t-1}, v^t),$$

при этом

$$v^t \in V(x^{t-1}), t = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где x^0 — начальное состояние траектории движения партии груза T ;

x^n — конечное состояние траектории движения партии груза T ;

Рис. 2. Конечный условный граф возможных перемещений партии груза в динамической системе с дискретными состояниями

$x^1, x^2, \dots, x^{n-1}$ — промежуточные состояния траектории движения партии T .

Построение оптимальной траектории перемещения партии груза в ТЛС основано на принципе Беллмана:

$$B(x) = \min_{v \in V(x)} \{s(x, v) + B(f(x, v))\},$$

$$(x \in D|F). \quad (3)$$

Далее вычисляем значения функции Беллмана по формуле (3) [6]. Представленная методика, основанная на принципе динамического программирования, позволяет определенным образом упорядочить и существенно сократить перебор возможных вариантов перемещения партий грузов в ТЛС.

Пример. Систему ТЛС (Ω) можно представлять конечным взвешенным ориентированным графом $G(\Omega)$, вершины которого взаимно однозначно соответствуют состояниям системы (параметры ТСО и ГАП), дуги — управлениям перемещения партии груза, веса дуг — количественным оценкам эффективности соответствующих переходов (рис. 2).

Выводы. Формирование оптимальной траектории перемещения одной партии груза в ТЛС позволяет определить общую структуру грузопотоков при заявленных объемах перевозок в системе (объем грузов перевозимый и планируемый к перевозкам), а полученные результаты с применением методики достижения динамического баланса между величинами пропускных способностей ТСК и грузопотоков [3] являются значениями входных информационных потоков в системы грузопереработки отдельных ТСК, а также базой данных в модели управления в ТЛС как подсистемы ИТС. Основной недостаток применения методов динамического программирования — отсутствие общего алгоритма решения, пригодного абсолютно для всех прикладных задач. Данный метод дает лишь общее направление решения конкретной задачи и поэтому в каждом случае необходимо находить наиболее подходящий метод оптимизации по обоснованным критериям эффективности. Кроме того, рассматриваются динамические системы, в которых за управляемый параметр принимается только один критерий. В случае моделирования ТЛС как динамической системы с дискретными состояниями в ТСК необходимо учитывать

многочисленные показатели, сгруппированные в комплексы критериев ТСО и ГАП.

Библиографический список

1. Горев А. Э. Основы теории транспортных систем: учеб. пособие. СПб.: СПбГАСУ. 2010. 214 с.
2. Котиков Ю. Г. Основы системного анализа транспортных систем. СПб.: СПбГАСУ, 2001. 264 с.
3. Демин В. А., Карелина М. Ю., Терентьев А. В. Методика достижения динамического баланса между величинами пропускных способностей транспортно-складских комплексов и грузопотоков в логистических системах // Логистика. 2018. № 2 (135). С. 32–36.
4. Прудовский Б. Д., Терентьев А. В. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования // Записки Горного института. СПб.: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. Т. 211. С. 89–90.
5. Терентьев А. В., Прудовский Б. Д. Методы принятия решений в условиях неопределенного состояния «внешней среды» // Транспортное планирование и моделирование: сб. тр. Международной научно-практической конференции (26–27 мая 2016) СПбГАСУ. СПб., 2016. С. 145–149.
6. Коган Д. И. Динамическое программирование и дискретная многокритериальная оптимизация. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского ун-та, 2004. 150 с.

References

1. Gorev A. E. *Osnovy teorii transportnykh system. Ucheb. posobie* [The basics of the theory of transport systems]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2010, 214 p.
2. Kotikov Yu. G. *Osnovy sistemnogo analiza transportnykh system. Ucheb. posobie* [Fundamentals of the system analysis of transport systems]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2001, 264 p.
3. Demin V. A., Karelina M. Yu., Terent'ev A. V. *Metodika dostizheniya dinamicheskogo balansa mezhdu velichinami propusknykh sposobnostey transportno-skladskikh kompleksov i gruzopotokov v logisticheskikh sistemakh* [Technique of achieving a dynamic balance between the values of the transport storage facility capacities, and freight flows in logistics systems]. *Logistika – Logistics*, 2018, no. 2 (135), pp. 32–36.
4. Prudovskiy B. D., Terent'ev A. V. *Metody opredeleniya mnozhestva Pareto v nekotorykh zadachakh lineynogo programmirovaniya* [Methods of determining the Pareto set in some linear programming problems]. *Zapiski Gornogo instituta* [Bulletin of the Mining Institute]. St. Petersburg, Natsional'nyy mineral'no-syr'evoy universitet «Gornyy» Publ., 2015, no. 211, pp. 89–90.

5. Terent'ev A. V., Prudovskiy B. D. *Metody prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelyonnogo sostoyaniya «vneshney sredy»* [Decision-making techniques in the indeterminable state of the "environment"]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (26–27 maya 2016) SPbGASU «Transportnoe planirovanie i modelirovanie»* [Proc. of the International scientific-practical conference (May 26–27, 2016) SPSUACE

"Traffic planning and modeling"]. St. Petersburg, 2016, pp. 145–149.

6. Kogan D. I. *Dinamicheskoe programmirovaniye i diskretnaya mnogokriterial'naya optimizatsiya. Ucheb. posobie* [Dynamic programming and discrete multi-criteria optimization]. Nizhniy Novgorod, Nizhniy Novgorod University Publ., 2004, 150 p.