



Модель определения оптимальных траекторий перемещения партий грузов



Василий ДЕМИН
Vasily A. DEMIN

Себастиан ОЙРИХ
Sebastian EURICH



Дмитрий ЕФИМЕНКО
Dmitry B. EFIMENKO

Демин Василий Александрович – кандидат технических наук, заместитель директора Координационного совета по логистике, директор НОЦ инновационных технологий в логистике Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия.
Ойрих Себастиан – доктор-инженер, Институт логистики и обработки материальных потоков, Магдебург, Германия.
Ефименко Дмитрий Борисович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой правового и таможенного регулирования на транспорте МАДИ, Москва, Россия.

Model for Determining the Optimal Trajectory of Movement of Consignments
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 60)

Представленная модель определения оптимальных траекторий перемещения партий грузов, формирующих грузопотоки в транспортно-логистических системах (ТЛС), основана на совмещении динамических систем и методов многокритериальной оптимизации.

Данный подход развивает методологию решения прикладных задач управления в ТЛС, центральным результатом которой является принцип нахождения максимума при условии соблюдения критериальных предпочтений, базирующийся на эффективном средстве решения проблемы – методах определения множества эффективных планов (множества Парето). При этом управление в ТЛС формирует модели грузопотоков с учётом месторасположения транспортно-складских комплексов в границах исследуемой или проектируемой системы и обеспечивает движение партий грузов по заданным критериям эффективности и наиболее рациональным траекториям с помощью методов аналитического моделирования. Аналитика в совокупности с цифровыми технологиями помогает увидеть суть ТЛС как подсистемы интеллектуальных транспортных систем.

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

Модель управления в транспортно-логистической системе (ТЛС) имеет сложную многоуровневую и многокомпонентную иерархическую структуру [1, с. 36; 2, с. 52]. Поэтому причинно-следственные связи при организации перевозочного процесса в ТЛС с развитой инфраструктурой транспортно-складских комплексов (ТСК) должны быть формализованы посредством адекватного математического описания, оптимизирующего выработку рациональных решений по формированию единого направленного взаимодействия эксплуатантов транспортной инфраструктуры (автотранспортных предприятий, ТСК и др.). Разработка аналитической модели управления в ТЛС в рамках объектно-ориентированной методологии получения оптимальных решений в сложных организационно-технических системах позволит реализовать процесс управления грузопотоками как отдельный сервисный домен или подсистему интеллектуальной транспортной системы (ИТС) в соответствии с требованиями ГОСТ [3, п. 4.1.1, с. 12].

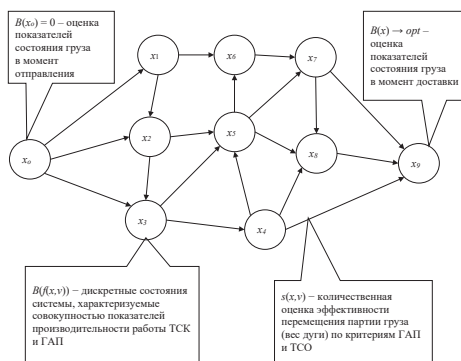


Рис. 1. Конечный условный граф возможных перемещений партии груза в динамической системе с дискретными состояниями в ТЛС.

Для решения задачи определения оптимальных траекторий перемещения партий груза в ТЛС примем следующие положения:

1. 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 применения для оценки её эффективности методов многокритериального динамического программирования [4, с. 33].

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

3. Решение задач оптимизации должно опираться на множество эффективных планов, оптимальных по Парето для отдельных участков ТЛС в зависимости от степени важности или доминирования того или иного критерия [5, с. 89; 6, с. 148].

МЕТОДИКА

Как известно, в основе метода динамического программирования лежит принцип последовательного анализа процесса, изменяющегося во времени. Обычно при определении рекуррентных соотношений динамического программирования во внимание берётся дискретность управляемой системы и синтезируется оптимальная траектория последовательных решений,

что позволяет строить оптимальные траектории грузодвижения в ТЛС [7, с. 11]. Основным недостатком применения динамического программирования является отсутствие единого алгоритма решения, пригодного абсолютно для всех прикладных задач. Данный метод даёт лишь общее направление решения конкретной задачи, и поэтому в каждом случае приходится находить наиболее подходящий метод оптимизации процесса по обоснованным критериям эффективности. Кроме того, традиционно рассматриваются динамические системы, в которых в качестве управляемого параметра принимается только один критерий, в то время как для динамической системы с дискретными состояниями в ТСК необходимо учитывать многочисленные показатели, сгруппированные в комплексы критериев ТСО и ГАП. Поэтому, применяя метод динамического программирования как метод оптимизации в ТЛС, необходимо реализовать одновременный учёт значений значительного количества показателей ТСО и ГАП в решаемой экстремальной задаче, последовательно применяя каждый из них (по ряду критериев) в зависимости от условий и состояния среды ТЛС на данный момент времени. Следовательно, процедура выявления значений переменных в создаваемой модели может трактоваться как многоэтапный процесс управления в интегрированной системе показателей ТСО и ГАП.

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



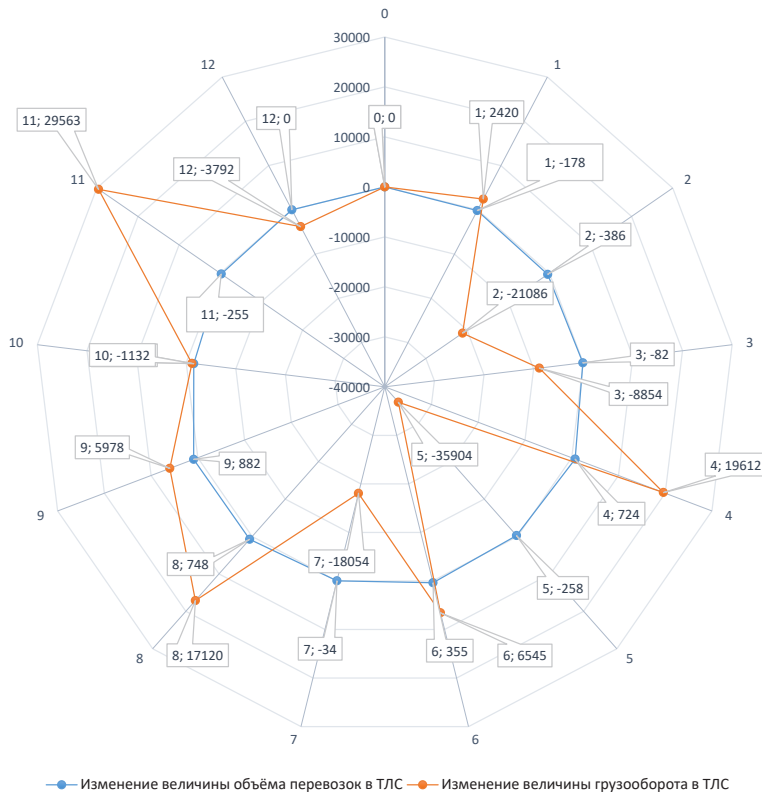


Рис. 2. Диаграмма распределения изменений значений математического ожидания результативных показателей в нормированных единицах для дискретных состояний параметров грузопотоков в ТЛС.

(рис. 2). Построение оптимальной траектории перемещения партии груза в ТЛС основано на принципе Беллмана (рис. 1): $B(x) = \min_{v \in V(x)} \{s(x, v) + B(f(x, v))\}$, $(x \in D|F)$. (1)

Определение рациональных траекторий перевозок партий грузов базируется, кроме указанного принципа Беллмана, и на аналитическом решении многокритериальной задачи оптимизации для отдельных элементов системы (2). При этом процедура определения значений переменных трактуется как многоэтапный процесс управления перемещением партий грузов ТЛС.

1. Каждому ТСК соответствует множество возможных состояний в зависимости от результативных показателей ГАП и ТСО, объединённых в единый цикл транспортного процесса.

2. Управление в системе реализуется пошагово для отдельной партии груза после определения эффективного решения и применения его в качестве одного из конечного числа возможных распределений груза на ТСК.

3. Конечным результатом последовательных воздействий будет изменение состояния системы, определяемое степенью загруженности отдельных ТСК. Полученные результаты решения дискретной рационализации методом динамического программирования оформляются в виде рациональной траектории перемещения партии груза в ТЛС:

$$\begin{cases} B(x) = \max_{v \in V(x)} \{D_{i(x)} + B(f(D_{i(x)}))\}, (x \in D|F), \\ D_{i(x)} = \sum_{j=1}^n b_{ij} c_j \rightarrow opt, \\ \sum_{j=1}^n c_j = 1, 0 \leq c_j \leq 1, c_j \geq c_{j+1}, i = \overline{1, n-1}, \end{cases} \quad (2)$$

где $D_{i(x)}$ — количественная оценка эффективности перемещения партии груза (вес дуги) по критериям ГАП и ТСО; $B(f(D_{i(x)}))$ — дискретные состояния системы, характеризующие совокупностью показателей производительности работы ТСК и ГАП; b_{ij} — нормированные значения результативных показателей ТСО и ГАП; c_j — коэффи-

циенты относительной важности результатов показателей ТСО и ГАП.

Пример. Формирование рациональной траектории перемещения одной партии груза в ТЛС позволяет определить общую структуру грузопотоков при заявленных объёмах перевозок в системе (объём грузов, перевозимый и планируемый к перевозкам). Далее определяется абсолютный грузооборот отдельных ТСК как суммарное количество грузов различных партий, переработанных через ТСК за определённый период времени (сутки, месяц, год):

$$\Gamma = \sum \frac{Q_i}{K_{\text{пер}}}, \quad (3)$$

где Γ — грузооборот, м^3 ; Q_i — объём грузов, проходящий через ТСК за период времени по i -й грузовой группе; $K_{\text{пер}}$ — коэффициент перевода объёма грузов в тоннах (объём перевозки в ГАП) к объёму грузов в м^3 (объём складирования в ТСК) в выражении, $\text{т}/\text{м}^3$.

Общий объём погрузочно-разгрузочных работ за единицу времени на ТСК или *грузопереработка* упрощённо определяется по формуле:

$$\Gamma\text{П} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{ei}} k_i, \quad (4)$$

где $\Gamma\text{П}$ — годовая грузопереработка, тыс. т-операций /год; Q_{ei} — годовой грузопоток i -го груза, тыс. т /год; k_i — коэффициент перевалки i -го груза, операций; n — количество наименований грузов, поступающих на склад.

Результаты вычислительного эксперимента получения оптимальных траекторий, проведённого для 100 партий груза в системе ТЛС, представлены на рис. 2 в виде диаграммы распределения изменений значений (увеличения, уменьшения) математического ожидания результативных показателей (объём перевозки и грузооборот) в нормированных единицах для дискретных состояний параметров ТЛС.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты при применении методики определения оптимальных траек-

торий грузопотоков являются значениями входных информационных потоков в системе грузопереработки отдельных ТСК и являются базой для формирования цифровой информационно-аналитической системы управления в ТЛС. Решение задачи определения рациональных параметров ТСО как функции, находящейся в одной логистической цепи с параметрами ГАП, позволит сократить простои автомобилей и рационализировать производственные мощности ТСК.

Принципиальным отличием полученного решения является то, что для прикладной задачи построения динамических систем в качестве управляемого параметра принимается не один, а несколько критериев. При этом реализуется модель аналитического решения в динамических задачах, основанная на поиске разумного компромисса, заключающегося в выборе управления, удовлетворяющего экстремальным значениям одновременно по всем исследуемым критериям ТСО и ГАП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горев А. Э. Основы теории транспортных систем: Учеб. пособие. — СПб.: СПбГАСУ, 2010. — 214 с.
2. Котиков Ю. Г. Основы системного анализа транспортных систем: Учеб. пособие. — СПб.: СПбГАСУ, 2001. — 264 с.
3. ГОСТ Р ИСО 14813—1—2011. Интеллектуальные транспортные системы. Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. Часть 1. Сервисные домены в области интеллектуальных транспортных систем, сервисные группы и сервисы.
4. 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. — С. 32—36.
5. Прудовский Б. Д., Терентьев А. В. Методы определения множества Парето в некоторых задачах линейного программирования // Записки Горного института. — 2015. — Т. 211. — С. 89—90.
6. Терентьев А. В., Прудовский Б. Д. Методы принятия решений в условиях неопределённого состояния «внешней среды» // Транспортное планирование и моделирование: Сб. трудов Международной научно-практической конференции. — СПб.: СПбГАСУ, 2016. — С. 145—149.
7. Коган Д. И. Динамическое программирование и дискретная многокритериальная оптимизация: Учеб. пособие. — Н. Новгород: Изд-во Нижегородского ун-та, 2004. — 150 с.

Координаты авторов: **Демин В. А.** — demin@ccl-logistics.ru, **Ойрих С.** — eurichsg-72@gmail.com, **Ефименко Д. Б.** — ed2002@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 27.08.2018, актуализирована 12.03.2019, принята к публикации 14.03.2019.

