

Инструментарий динамического программирования в оптимизации региональной транспортной системы



Александр ШРАМКО

Alexander P. SHRAMKO

Instrumentation of Dynamic Programming in Optimization of a Regional Transport System

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 143)

Исследуются оптимизационные подходы к моделированию транспортной системы региона на основе принципов динамического программирования при соотношении объёмов грузопотоков провозным возможностям транспортной системы с определением рационального маршрута движения принятых к транспортировке грузов. Предлагается методологический инструментарий модернизации региональной транспортной системы.

Ключевые слова: грузопоток, водный транспорт, автопредприятия, железная дорога, региональная транспортная система, динамическое программирование, моделирование, международный транзит.

Шрамко Александр Павлович — кандидат экономических наук, доцент кафедры системного анализа и управления на водном транспорте Государственного морского университета им. адмирала Ф. Ф. Ушакова, Новороссийск, Россия.

Для эффективного функционирования транспортной системы необходимо сбалансировать провозной и пропускной потенциал сети с потребностями внутреннего и международного транзита. Транспорт — обслуживающая отрасль материального производства, при помощи которой происходит постоянный кругооборот производительного капитала и ритмичное функционирование промышленного производства. Неравномерность роста объёмов перевозок должна компенсироваться ростом потенциала инфраструктуры, потребным количеством подвижного состава, локомотивов и вагонов.

Одним из эффективных методов прогнозирования и проектирования транспортных систем является динамическое программирование (ДП), которое применяется при планировании долгосрочных программ развития, поэтапной модернизации региональной системы товародвижения.

Грузопоток характеризуется вектором: пункт отправления, пункт назначения, класс, род груза, срок доставки, время отправления.

В свою очередь, перевозка грузов связана со схемой (картограммой) грузопотока, скоростью движения, ёмкостью (грузо-

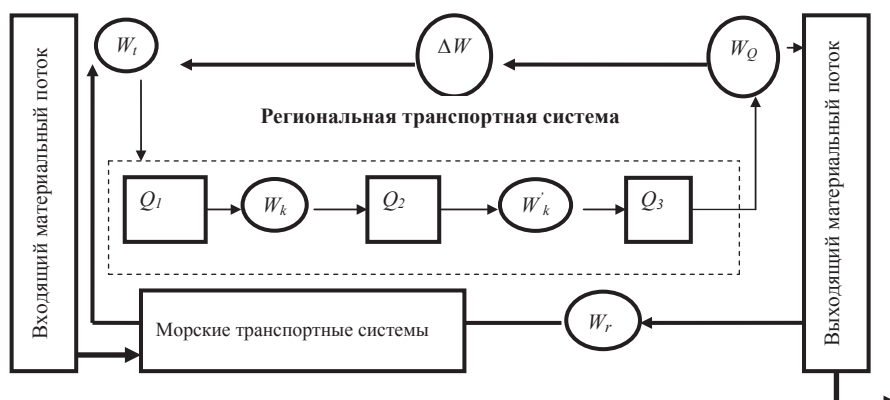


Рис. 1. Принципиальная схема функционирования региональной транспортной системы в составе международного коридора:

W_i – грузопоток транспортного комплекса; W_o – транспортная продукция; W_r – потребности грузополучателя; W_k – прогнозная провозная возможность транспортного комплекса; W_k – фактическая провозная способность; Q_1 – оператор морского транспорта; Q_3 – оператор железнодорожного транспорта; Q_2 – оператор автомобильного транспорта; ΔW – увеличение (сокращение) грузопотока.

подъёмностью) подвижного состава (чем больше грузоподъёмность, тем меньше себестоимость транспортирования, но больше издержек за счёт простоев). В основе устойчивого грузопотока лежит организация взаимодействия видов транспорта, грузоперерабатывающий потенциал терминалов, оптимальная грузоподъёмность единицы подвижного состава (рис. 1).

Транспортный комплекс является динамической системой, поэтому все фигурирующие в процессе переменные величины функционально зависимы от времени. Любую конечную провозную возможность W_k следует рассматривать в некоторый определённый момент времени t .

Вход – грузопоток транспортного комплекса – также изменяется во времени, поэтому возможны такие состояния системы, когда значения грузопотока будут значительно отличаться от провозной способности комплекса, что может привести к отказам. В этих условиях особый интерес представляет установившийся режим работы, устойчивость процесса во всём диапазоне изменения грузопотока. Для этого необходимо знать величину и закономерности изменения грузопотока транспортного комплекса и его провозного потенциала.

Развитие международных отношений выявило целый ряд дополнительных загруженностей в виде различия технических норм по подвижному составу, транспортным путям, габаритам и массе грузов, своеобразие национальных нормативно-

правовых требований, что создаёт большие задержки при перевалке грузов с одного вида транспорта на другой (особенно при пересечении границ), тем самым увеличивая риски и стоимость.

Характерный с этой точки зрения транспортный комплекс Азово-Черноморского бассейна РФ (рис. 2) представляет собой совокупность различных видов транспорта, действующих на территории региона. Его развитие обусловлено особенностями хозяйственного комплекса, отраслевой и территориальной структурой производства, местом региона в постсоветском разделении труда, географическим положением и рядом других условий и факторов [8].

Потребные провозные возможности транспортного комплекса определяются ростом объёма перевозок. Этот параметр может быть как постоянным, так и переменным. Функция потребности в перевозках предстаёт в виде:

$$Q(t) = Q_{(t-1)} + aA_t + a_1A_{t-1} + a_2A_{t-2}, \quad (1)$$

где $Q(t)$ – прогнозируемый объём перевозки в период t ; $Q_{(t-1)}$ – объём перевозок в предшествующий период; a , a_1 , a_2 – постоянные коэффициенты, положительно или отрицательно влияющие на транзит; A_t – число единиц транспортных средств (железнодорожного, автомобильного, морского) за период t .

Потребности в транзите региона и его провозных возможностей:

$$Q = F(A); \dots W_k = \phi(A). \quad (2)$$



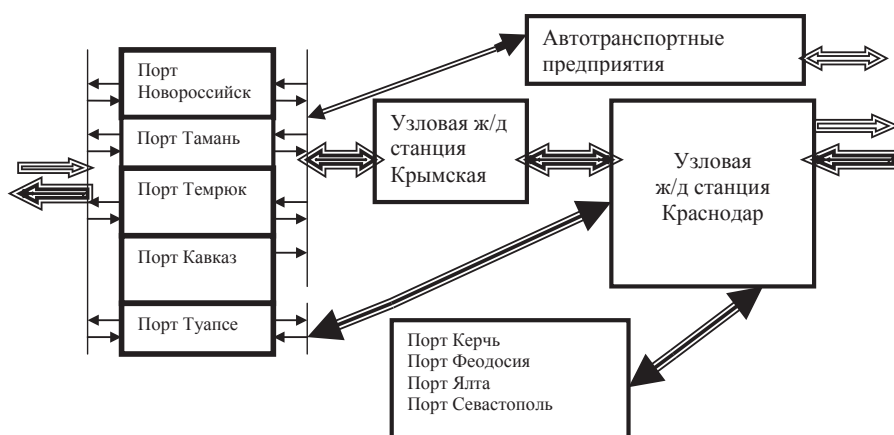


Рис. 2. Принципиальная схема региональной транспортной системы Азово-Черноморского бассейна [6].

Рассматривая транспортную систему региона с позиций динамического программирования, мы осуществляем выбор оптимального плана реализации многоэтапных действий.

Транспортный процесс состоит (организационно и технологически) из m шагов (этапов). На каждом шаге идёт распределение и перераспределение ресурсов с целью улучшения конечного результата. Эти распределения в динамическом программировании называются управлениями операций и обозначаются буквой u . Эффективность операции в целом оценивается тем же показателем, что и эффективность управления $W(u)$. При этом $W(u)$ зависит от всей совокупности управлений на каждом шаге операции: $W = W(u) = W(u_1, u_2, \dots, u_m)$. Управление, при котором показатель W достигает максимума, становится оптимальным.

Оптимальное управление многошаговым процессом – совокупность оптимальных управлений на каждом этапе: $u = (u_1, u_2, \dots, u_m)$.

В большинстве практических задач показатель эффективности операций представляет собой сумму эффективности действий на всех этапах (шагах) операций:

$W = \sum_{i=1}^m \omega_i$ где ω_i – эффективность операции на i -м шаге. При этом в случае оптимального управления системой $W = \max \sum_{i=1}^m \omega_i$.

Сущность решения задач динамического программирования заключается в следующем [10]:

– оптимизация производится методом последовательных приближений (итераций) в два круга; вначале от последнего шага операции к первому, а затем, наоборот, от первого к последнему;

– на первом круге, идя от последующих шагов к предыдущим, находится так называемое условное оптимальное решение. Оно выбирается таким, чтобы все предыдущие шаги давали максимальную эффективность последующего шага. Иными словами, на каждом шаге ищется такое управление, которое обеспечивает оптимальное продолжение операции. Соответственно и сам принцип выбора управления в этом случае логично считать принципом оптимальности;

– второй круг оптимизации начинается с шага, для которого оптимальное управление известно. Имея для всех шагов после него условные оптимальные управления, определяются решения для каждого последующего шага.

Динамическая модель соотношения грузопотоков и провозной способности транспортного комплекса региона представлена на рис. 3. Прямая $\phi(A)$ на нём отражает возможности и потребности в перевозках грузов, определяемые $F(A)$.

Действия динамической модели соответствуют обозначенным изменениям провозной способности $\phi(A)$ и потребности в перевозках $F(A)$. Положение равновесия между ними фиксирует точка пересечения Q и $\bar{W}_k$. В начальный период

провозной потенциал составляет W_{k0}

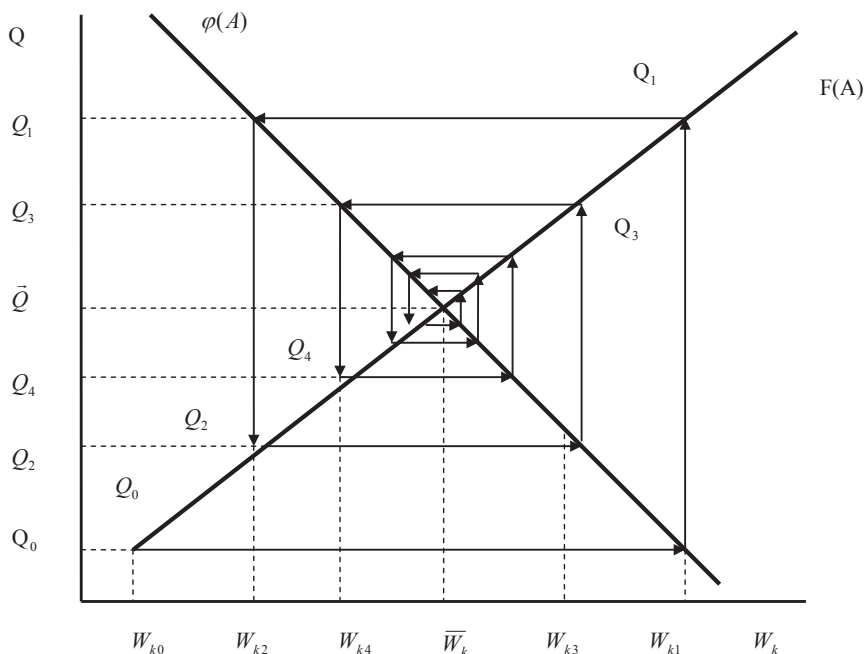


Рис. 3. Динамическая модель соотношения грузопотоков и провозной способности транспортного комплекса региона.

и перевозится Q_0 объём груза, соответствующие точке Q_0 на линии $F(A)$. При недостаточной провозной способности подвижного состава, обеспечивающего транзит, спрос превышает предложение.

С учётом этого во второй период провозные способности составят W_{k1} и будет перевезено Q_1 грузов. От точки Q_1 на линии $F(A)$ движение пойдёт по горизонтали до пересечения с линией $\phi(A)$. Вертикаль, опущенная из точки пересечения, покажет требуемые провозные возможности следующего времени интервала, а проекция на ось ординат — объём груза, перевозимого в следующий период. Относительная провозная возможность и объём перевозимого груза являются соответственно координатами точек Q_1, Q_2, Q_3 на кривой, которые тяготеют к точке с координатами $\bar{Q}, \bar{W}_k$.

Расположение точек Q_1, Q_2, Q_3 зависит от характера зависимостей $\phi(A)$ и $F(A)$. Колебания могут быть затухающими, взрывными и регулярными. Если функции $F(A)$ и $\phi(A)$ заданы уравнениями $F(A) = Q_0 + aA_t; \phi(A) = W_{k0} + bA_t$ (3) (где a и b — постоянные коэффициенты; W_{k0} — провозные возможности транспортного комплекса в предшествующий пери-

од), то соответствие провозной способности объёму перевозок будет выражено уравнениями:

$$\bar{Q} = Q_0 + a\bar{A}_t = W_{k0} + b\bar{A}_t; \quad (4)$$

$$\bar{A}_t = \frac{Q_0 - W_{k0}}{b - a}. \quad (5)$$

В случае, когда происходит отставание провозной способности подвижного состава от потребности в перевозке, уравнение приобретает вид:

$$Q_1 = Q_0 + aA_{t-1} = W_{k0} + bA_t. \quad (6)$$

Проведя преобразование уравнений (3) и (4), получим

$$\Delta A_t = A_t - \bar{A} \quad (7)$$

и в результате $a\Delta A_{t-1} = bA_t$.

Уравнение описывает отклонения от уровня равновесия. Если обозначить $C = a/b$ и поставить его в это уравнение, то получим $\Delta A_t = C\Delta A_{t-1}$. Если известно значение A_0 в момент t_0 , то $\Delta A = A_0 C^t, \dots, A = A + (A_0 - A)C^t; \dots, \Delta A = A_0 C^t$.

В этом случае $C = \frac{(+a)}{(-b)}$; $\Delta A_t = A_0(-1)^t C^t$

и, следовательно, равно значениям $A_0 C, \dots, A_0 C^2, \dots, A_0 C^3$, так что ΔA_t поочередно приобретает то положительное, то отрицательное значения.



Анализ показывает, что возможны следующие случаи:

1) $a > |-b|$, угол наклона $F(A)$ к оси OA больше, чем угол наклона $\phi(A)$. Если $C > 1$ и ряд последовательных значений ΔA_i являются бесконечно возрастающими по абсолютной величине $\Delta \rightarrow \infty$, имеют место взрывные колебания;

2) $a = |-b|$, т.е. углы наклона $F(A)$ и $\phi(A)$ равны. В этом случае $C = 1$ и ряд значений ΔA_i будет состоять из чередований $(A - \Delta A_i)$ и $(A + \Delta A_i)$, т.е. ΔA_i будет то больше, то меньше W_k на одну и ту же величину;

3) $a < |-b|$, т.е. угол наклона $\phi(A)$ больше, чем $F(A)$. В этом случае $C < 1$ и последовательные ΔA_i уменьшаются по абсолютной величине. Колебания затухающие, стремящиеся к уровню равновесия. Чем больше β по отношению к α , т.е. чем круче $\phi(A)$ по сравнению с $F(A)$, тем скорее будут затухать неравномерности поступления грузов в систему.

Методом динамического программирования могут решаться и задачи, приводящие к сетевым транспортным моделям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инструментарий динамического программирования остаётся востребованным, несмотря на то, что предложенные модели являются довольно общим отображением транспортного процесса, в котором учтены основные взаимосвязи между главными компонентами: транспортной сетью, грузопотоками и потоками транспортных средств, а также количеством грузов на терминалах в порту и на подходах к ним.

Методы динамического программирования ориентированы на повышение эффективности в решении транспортных задач путём их разбиения на относительно небольшие и, следовательно, легко поддающиеся решению подзадачи. При этом принцип оптимальности является основной поэтапности совершаемых действий, однако он не содержит информации о способах решения подзадач, возникающих на каждом этапе. По этой причине принцип оптимальности иногда рассматривается

как слишком общий для того, чтобы быть полезным в практических исследованиях. Возможны ситуации, когда декомпозиция задач осуществлена надлежащим образом, а числовой результат получить не удаётся вследствие большой сложности оптимизационных подзадач, связанных с каждым этапом. Тем не менее следует отметить, что, несмотря на указанные недостатки, метод динамического программирования существенно облегчает решение целого ряда практических задач.

Сформулированная проблема принадлежит к классу задач оптимизации взаимосвязанных потоков на сети: первичного, представляющего поток транспортных средств по транспортной сети, и вторичного — потока перевозимых грузов

ЛИТЕРАТУРА

1. Доенин В. В. Динамическая логистика транспортных процессов. — М.: Спутник+, 2010. — 246 с.
2. Кузнецов А. П. Методологические основы управления грузовыми перевозками в транспортных системах. — М.: ВИНТИ, 2002. — 276 с.
3. Доенин В. В. Моделирование транспортных процессов и систем. — М.: Спутник+, 2012. — 288 с.
4. Шрамко А. П. Теоретико-методологические проблемы повышения конкурентоспособности транспортных коридоров в условиях глобализации на примере Азово-Черноморского бассейна Российской Федерации: Монография. — Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2017. — 250 с.
5. Гасников А. В. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: Учеб. пособие. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.: МЦНМО, 2013. — 427 с.
6. Таха Х. А. Введение в исследование операций: Пер. с англ. — 7-е изд. — М.: Вильямс, 2005. — 912 с.
7. Корчагин В. А., Шмырин А. М., Ризаева Ю. Н., Шмырина Т. А. Моделирование иерархической окрестностной логистической транспортно-распределительной системы региона // Транспорт: наука, техника, управление. — 2011. — № 3. — С. 18–21.
8. Шрамко А. П. Системный анализ процессов взаимодействия транспорта в регионе и узлах при увеличении грузопотока // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2014. — № 1. — С. 100–107.
9. Алибеков Б. И. Логистика грузовых перевозок региональных транспортных систем: моделирование и управление. — Ростов-на-Дону: РГУПС, 2010. — 179 с.
10. Мамаев Э. А. Моделирование региональных транспортных систем в условиях конкуренции / Дис... док. техн. наук. — М., 2006. — 348 с.
11. Мамаев Э. А. Динамическая модель инвестиций в развитие основных производственных фондов предприятия // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2004. — № 3. — С. 81–82. ●

Координаты автора: **Шрамко А. П.** — ocenka-shramko@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 12.01.2017, актуализирована 03.04.2017, принята к публикации 23.04.2017.