
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

TECHNICAL SCIENCE

УДК 338.47:656

ББК 65.37

Г 93

Гукетлев Ю.Х.

Доктор экономических наук, профессор, зав. кафедрой организации и управления транспортными процессами инженерно-экономического факультета Майкопского государственного технологического университета, тел. (8772) 52-51-51, e-mail: GuketlevUH@mail.ru

Белецкий А.В.

Аспирант кафедры организации и управления транспортными процессами инженерно-экономического факультета Майкопского государственного технологического университета, тел. (8772) 52-51-51

Графо-аналитическая модель регулирования регионального транспортного комплекса (Рецензирована)

Аннотация

Предложена основанная на графо-аналитическом методе модель формирования оптимальной структуры управления региональным транспортным комплексом (РТК). Модель имеет перспективы, связанные с анализом и выбором приоритетов при формировании различных схем регулирования РТК. Она позволяет проводить сравнительный анализ уже функционирующих моделей регулирования и выбирать среди них лучшие. Модель развивает идеи когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач, разрабатываемого в Институте проблем управления Российской Академии Наук.

Ключевые слова: *знаковый граф, графо-аналитическая модель, транспорт, регион, регулирование, оптимизация, слабоструктурированная задача.*

Guketlev Yu.Kh.

Doctor of Economics, Professor, Head of Department of Organization and Control of Transport Processes, the Engineering-Economic Faculty, Maikop State University of Technology, ph. (8772) 52-51-51, e-mail: GuketlevUH@mail.ru

Beletskiy A.V.

Post-graduate student of Department of Organization and Control of Transport Processes, the Engineering-Economic Faculty, Maikop State University of Technology, ph. (8772) 52-51-51

Graph-analytical model of regulation regional transport

Abstract

The paper provides a model of formation of optimum structure of a regional transport management based on a graph-analytical method. The model's prospects are related to the analysis and a choice of priorities at formation of various schemes of regulation of the regional transport complex. The model can be used to make the comparative analysis of already functioning models of regulation and to choose the best among them. The model develops ideas of the cognitive approach at the solution of the poorly structured problems, developed at the Institute of Problems of Management of the Russian Academy of Sciences.

Key words: *the signed graph, graph-analytical model, transport, region, regulation, optimization, poorly structured problem.*

Введение

Анализ характера процессов, возникающих в транспортном комплексе, является важным звеном формальных процедур широкого класса задач принятия решений и управления на макроэкономическом уровне. Характерные задачи этого типа возникают при исследовании слабо структурированных проблем, для которых типичен низкий уровень точности исходных данных и качественный характер описания зависимостей. Указанный круг проблем может быть исследован на базе определенных математических методов и построения различных моделей. Одним из таких современных методов анализа систем управления является графо-аналитический метод, при котором описание основных взаимосвязей производится на языке знаковых графов. Целесообразность и перспективность его применения в области регулирования транспортного комплекса определяется, во-первых, его относительной математической простотой, что позволяет преодолеть известный барьер высокой вычислительной трудоемкости, возникающей из-за необходимости учета большого числа существенных факторов, во-вторых, слабой чувствительностью к точности исходных данных и возможностью построения адекватных исследуемой ситуации моделей на зависимостях качественного типа.

С точки зрения математики и информатики данный метод первоначально, в той или иной форме, получил свое обоснование вначале в технических науках [1-4] и нашел широкое применение в различных областях науки [5-7], где «ручной труд» специалиста в соответствующей области знания, как правило, не поддается полной автоматизации.

Графо-аналитическая модель регулирования регионального транспорта

Различные субъекты и факторы экономической жизни постоянно влияют друг на друга. При этом, как правило, для каждого из них можно выделить «непосредственное окружение», которое оказывает на него влияние. Экспертным путем определяется список факторов, которые необходимо учитывать при анализе конкретной ситуации. Для РТК такими факторами являются, на наш взгляд, инфраструктура (дороги, связь и др.), региональная транспортная политика, инвестиционный климат, инновации и т.п. Большая часть такого рода факторов носит качественный характер.

Рассмотрим некоторые элементы и особенности построения модели системы управления РТК на языке знаковых графов, представленных в матричной форме. При этом построение модели будем вести по хорошо обоснованным алгоритмам из [5, 6].

На первом шаге необходимо осуществить выделение базисных элементов системы, которые в дальнейшем будем называть компонентами. В нашем случае было выделено для рассмотрения семь основных компонентов, определяющих, на наш взгляд, эффективное функционирование РТК:

P – политический компонент;

C – компонент консультационного обеспечения;

N – нормативно-правовой компонент;

I – научно-исследовательский (инновационный) компонент;

S – компонент инфраструктурного обеспечения;

K – компонент информационного обеспечения;

F – компонент финансово-инвестиционного обеспечения.

Указанные компоненты размещаем на главной диагонали условной матрицы 7×7 ,

которые обозначим $RTK [o]$ (формула (1)). Взаимодействие между компонентами будем описывать элементами, стоящими вне главной диагонали этой матрицы.

$$RTK [o] = \begin{bmatrix} P & PC & PN & PI & PS & PK & PF \\ CP & C & CN & CI & CS & CK & CF \\ NP & NC & N & NI & NS & NK & NF \\ IP & IC & IN & I & IS & IK & IF \\ SP & SC & SN & SI & S & SK & SF \\ KP & KC & KN & KI & KS & K & KF \\ FP & FC & FN & FI & FS & FK & F \end{bmatrix} \quad (1)$$

Например, в матрице $RTK [o]$ PC означает влияние компонента P на компонент C (соответственно CP – влияние компонента C на P). Схематично в тексте статьи влияние одного компонента на другой будем обозначать стрелкой между компонентами, например $P \rightarrow C$.

В соответствии с [5, 6] на втором шаге матрицу взаимодействия кодируют по условиям степени важности для исследования¹: если оно важно, то кодируем 1, в противном случае – 0. (Матрица $RTK [c]$ в формуле (2)). Матрице $RTK [c]$ фактически сопоставляется следующий диграф (рис. 1):

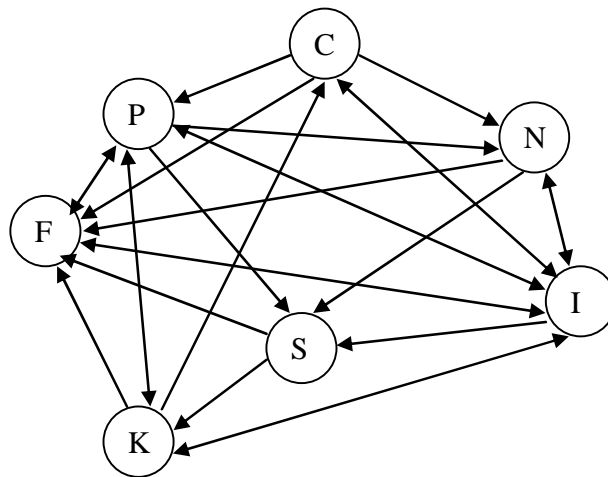


Рис. 1. Направленный граф, соответствующий матрице взаимосвязей

Согласно кодам в $RTK [c]$ P влияет на N , I , S , K и F . Точно так же C влияет на N , I и F ; N влияет на I , F ; I влияет только на S , K , F ; S влияет на K и F и, наконец, K влияет на F . Заметим, что взаимодействие, обозначенное PC , не существует, но не наоборот. Это проявляется 0, стоящим в первой строке второго столбца матрицы $RTK [c]$, и 1 во второй строке первого столбца $RTK [c]$. Аналогично легко

¹ Степень важности также определялась на основе экспертных оценок.

определяется, что F не влияет на K , в то время как K влияет на F . Это обозначено 0 в седьмой строке и шестом столбце и 1 в седьмом столбце и шестой строке $RTK [c]$. Такое кодирование показывает, что взаимодействия в $RTK [c]$ являются направленными, но не обязательно симметричными. На рис. 2 показана матрица $RTK [c]$ в виде, легко используемом для визуального обнаружения взаимодействий, где черные (белые) ячейки указывают на существующие (отсутствующие) влияния.

P						
	C					
		N				
			I			
				S		
					K	
						F

Рис. 2. Визуализированная матрица $RTK [c]$

На третьем шаге производится качественное кодирование²: если влияние одного компонента на другой ведет к положительным результатам, то единица берется со знаком «+», иначе, при отрицательном влиянии – со знаком «-». (Матрица $RTK [q]$, см. формулу (2)).

Четвертый шаг также формируется на основе экспертной информации по трехбалльной шкале: формально-слабое влияние оценивается в один балл, неформально-среднее – в два балла и неформально-сильное – в три балла.

Очевидно, что в данном методе, как и во всех других методах, основанных на анализе качественной информации, степень привлечения экспертов может быть различна, когда используется один эксперт, профессионально владеющий ситуацией в ТК, который на основе своих знаний, интуиции может указать необходимые параметры и связи, или к работе привлекается комиссия экспертов, коллективно оценивающих параметры и связи, с использованием той или иной схемы сбора и анализа мнений.

На основе экспертной информации составляется схема непосредственных влияний факторов друг на друга и оценивается степень взаимодействия. Получается математическая модель в виде взвешенного ориентированного графа с данными в вершинах. Она несколько похожа на известную схему межотраслевого баланса В. Леонтьева [8], но в отличие от нее графовая модель использует в основном качественные факторы.

Для построения нашей модели были использованы мнения экспертной комиссии, куда входили руководители транспортного комплекса Республики Адыгея. В результа-

² На основе экспертной информации.

те были построены две матрицы: одна по типу связей³ $RTK [s]$, а другая по их количественной оценке $RTK [v]$ (формула (2)). При этом, в частности, матрица $RTK [v]$ позволяет провести бинарную оценку путей взаимодействия между компонентами. Каждое бинарное отношение оценивалось по определенной балльной шкале.

$$\begin{aligned}
 RTK[c] &= \begin{bmatrix} P & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & C & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & N & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & I & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & K & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & F \end{bmatrix}, & RTK[q] &= \begin{bmatrix} P & 0 & +1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & C & +1 & +1 & 0 & 0 & +1 \\ 0 & 0 & N & +1 & 0 & 0 & -1 \\ +1 & +1 & +1 & I & +1 & +1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S & -1 & +1 \\ -1 & -1 & 0 & -1 & 0 & K & -1 \\ -1 & 0 & 0 & +1 & +1 & 0 & F \end{bmatrix}, \\
 RTK[s] &= \begin{bmatrix} P & \phi & c & n & n & \phi & c \\ \phi & C & n & c & 0 & 0 & c \\ 0 & 0 & N & n & 0 & 0 & n \\ n & n & \phi & I & \phi & n & c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S & c & c \\ n & n & 0 & n & 0 & K & n \\ n & 0 & 0 & \phi & c & 0 & F \end{bmatrix}, & RTK[v] &= \begin{bmatrix} P & 0 & 3 & 2 & 2 & 1 & 3 \\ 1 & C & 2 & 3 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & N & 2 & 0 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 1 & I & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S & 3 & 3 \\ 2 & 2 & 0 & 2 & 0 & K & 2 \\ 2 & 0 & 0 & 1 & 3 & 0 & F \end{bmatrix}. \tag{2}
 \end{aligned}$$

Например, бинарное отношение $P \rightarrow N$ с одним углом (изображен точками в матрице $RTK [v]$) имеет ценность 3, так как региональная политика влияет на все компоненты, за исключением компонента C . Очевидно, что достичь влияния компонента P на N можно и на пути отношения $P \rightarrow I \rightarrow N$, который имеет также ценность в 3 балла, но является суммой ценностей приходящихся на каждый край угла с ценностями 2 и 1. Соответственно путь $P \rightarrow K \rightarrow I \rightarrow N$ имеет ценность 4, $P \rightarrow F \rightarrow I \rightarrow N$ имеет ценность 5. Таким образом мы можем строить различные варианты путей влияния компонент друг на друга, которые после их оценивания позволяют выбрать оптимальные пути взаимодействия между компонентами системы. Оптимальность определяется максимумом ценности пути влияния.

На пятом шаге находятся доминирующие компоненты по уровню влияния в системе причинно-следственных связей, представленных матрицей $RTK [v]$: уровень причины (C) определяется как сумма значений степени важности в соответствующей строке матрицы, а следствие или эффект (Q) – как сумма значений степени важности в соответствующем столбце. Результаты расчетов степени причинно-следственных связей изображаются на графике (см. рис. 3). В нашем случае координаты компонентов в системе причина-следствие (C, Q) будут равны: (11, 7) для P , (9, 4) – для C , (4, 6) – для N , (11, 10) – для I , (6, 6) – для S , (8, 6) – для K и (6, 16) – для F .

Рисунок 3 наглядно показывает основную структуру причинно-следственных свя-

³ В матрице $RTK [s]$ символ « ϕ » обозначает формальный тип связи, « n » – низкий, « c » – сильный.

зей, что компоненты P и F являются доминирующими, а самыми зависимыми – N и S . Это означает, что управление системой РТК должно быть в большей степени сосредоточено на компонентах P и F как ключевых, то есть администрация (государство) должна сконцентрировать свои усилия для достижения лучших результатов в управлении РТК на формировании региональной транспортной политики и ее финансово-инновационном обеспечении. Как видим, наиболее подчиненными компонентами системы являются нормативно-правовой и инфраструктурного обеспечения.

Теперь мы можем определять оптимальные структуры, в которых осуществляется наибольшее влияние одних компонентов на другие, что позволяет формировать эффективную структуру управления РТК. Очевидно, что таких вариантов взаимодействия между структурными элементами системы много. При этом можно всегда выявить структуры, имеющие пути взаимодействия между конкретными двумя компонентами системы, подробно их описать и выбрать из них наиболее эффективную.

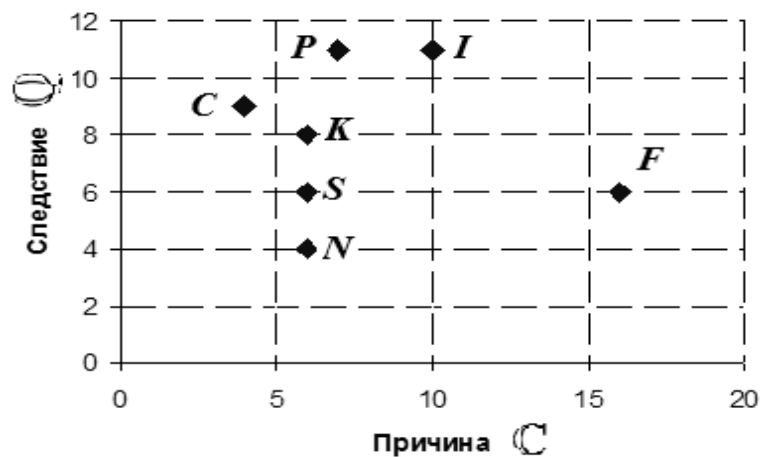


Рис. 2. Структура причинно-следственных связей компонентов системы управления РТК

Например, изучим связь между P и F (путь $P \rightarrow F$). Для этого запишем пути взаимодействия:

$$\begin{aligned} & \{P \rightarrow F\}, \{P \rightarrow N \rightarrow F\}, \{P \rightarrow I \rightarrow F\}, \{P \rightarrow S \rightarrow F\}, \{P \rightarrow K \rightarrow F\}, \\ & \{P \rightarrow N \rightarrow I \rightarrow F\}, \{P \rightarrow I \rightarrow S \rightarrow F\}, \{P \rightarrow I \rightarrow K \rightarrow F\}, \{P \rightarrow S \rightarrow K \rightarrow F\}, \\ & \{P \rightarrow N \rightarrow I \rightarrow S \rightarrow F\}, \{P \rightarrow N \rightarrow I \rightarrow S \rightarrow K \rightarrow F\}, \{P \rightarrow I \rightarrow S \rightarrow K \rightarrow F\} \end{aligned}$$

соответственно с ценностью в баллах: 3, 6, 5, 5, 3, 8, 6, 6, 7, 9, 11, 8.

Отсюда видим, что наибольший эффект будет достигнут по пути $\{P \rightarrow N \rightarrow I \rightarrow S \rightarrow K \rightarrow F\}$, который обеспечивает максимальное количество баллов. Это означает, что при разработке региональной транспортной политики особые акценты следует расставить на следующих компонентах: формирование соответствующей нормативной правовой базы, выработка научно-обоснованного алгоритма выбора оптимальных методов регулирующего воздействия на деятельность РТК, создание необходимого инфраструктурного и информационного обеспечения, которые в результате приводят к росту финансово-инвестиционной привлекательности РТК. Но следует отметить, что добиваться финансово-инвестиционного обеспечения можно было бы и

движением по минимальному пути $\{P \rightarrow F\}$ за счет прямого государственного финансирования, без привлечения частного капитала, что в рыночных условиях совершенно неэффективно.

Уникальная особенность построенных графо-аналитических матриц заключается также в том, что модель позволяет отслеживать уровень влияния обратной связи, которая может существовать между компонентами. Например, путь $\{P \rightarrow N \rightarrow I \rightarrow F \rightarrow P\}$ является одним из каналов обратной связи (петли), который позволяет оценивать эффективность проводимой региональной политики в транспортном комплексе. Предположим, что администрация предусматривает изменить нормативно-правовую базу $\{P \rightarrow N\}$ таким образом, чтобы увеличить инновации в ТК $\{N \rightarrow I\}$, и благодаря повышению инновационной составляющей $\{I \rightarrow F\}$ обеспечить рост финансовых инвестиций. В конечном итоге, если наблюдается реальный рост частных инвестиций, то на выходе по пути $\{F \rightarrow P\}$ администрация узнает об эффективности выбранной региональной политики.

Аналогичным образом на основе построенных матриц можно проводить анализ взаимосвязей в построенной структуре регулирования РТК и выработать рекомендации по ее корректировке. При этом необходимо сравнить информацию о реальной системе, которая получена эмпирическим путем, с той информацией, которую в этой же области параметров дает графо-аналитическая модель. Если расхождения невелики с точки зрения целей моделирования, то модель можно считать адекватной.

Заключение

Транспортный комплекс как система характеризуется определенной динамикой, а в ряде случаев динамические процессы в сложной системе трудно моделировать простым графо-аналитическим методом. Поэтому, как правило, осуществляется переход к построению функционального знакового орграфа [3, 4]. Однако непосредственный переход к нему может быть осложнен из-за трудностей выявления вида и параметров этих функций. Вследствие этого применение предложенной выше графо-аналитической модели возможно с определенной периодичностью во времени.

Таким образом, основываясь на графо-аналитическом методе, предложена модель формирования оптимальной структуры управления РТК. Модель имеет перспективы, связанные с анализом и выбором приоритетов при формировании различных схем регулирования РТК. Более того, она позволяет проводить сравнительный анализ уже функционирующих моделей регулирования и выбирать среди них лучшие.

Рассмотренная модель развивает идеи когнитивного подхода при решении слабо-структурированных задач, разрабатываемого в Институте проблем управления РАН [4], но на основе иного математического обеспечения.

Следует отметить, что наряду с вышеназванными положительными моментами рассмотренный метод имеет определенные недостатки: во-первых, точность его существенно зависит от качества экспертных мнений, во-вторых, с ростом размерности задачи растет количество путей, которые подлежат анализу (так называемое «проклятие размерности»), в-третьих, к сожалению, до настоящего времени не создано программного продукта (по крайней мере, нам это не известно), позволяющего на персональном компьютере осуществлять моделирование в рамках графо-аналитического метода.

Примечания:

1. Зыков А.А. Основы теории графов. М.: Наука, 1987. 384 с
2. Hudson J.A. Rock engineering systems: Theory and practice. L.: Ellis Horwood, 1992. 185 p.
3. Орлов А.И. Теория принятия решений. М.: Март, 2004. 656 с.
4. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем / В.В. Кульба, Д.А. Кононов, С.А. Косяченко, А.Н. Шубин. М.: СИНТЕГ, 2004. 296 с.
5. Temel T., Janssen W., Karimov F. The Agricultural Innovation System of Azerbaijan: An Assessment of Institutional Linkages // International Service for National Agricultural Research. ISNAR Country Report. 2002. No. 64. 57 p.
6. Takeo Yamada, Leslie R. Foulds. A graph-theoretic approach to investigate structural and qualitative properties of systems: A survey // Networks. 2006. Vol. 20. Iss. 4. P. 427-452.
7. Исследование попутных дорожно-транспортных происшествий графоаналитическим методом / А.П. Ботян, Д.Г. Лаппо, Д.В. Капский, Е.И. Габа, В.К. Волков // НИРС - 2005: сб. тез. докл. X Республиканской науч. конф. студентов и аспирантов вузов Республики Беларусь: в 3 ч. Ч. 2. 2005. С. 61.
8. Leontief W.W. The structure of American economy, 1919-1939. Fair Lawn. N. J: Oxford University Press, 1951.

References:

1. Zykov A.A. The bases of the theory of graphs. M.: Nauka, 1987. 384 p.
2. Hudson J.A. Rock engineering systems: Theory and practice. L.: Ellis Horwood, 1992. 185 p.
3. Orlov A.I. Theory of decision-making. M.: March, 2004. 656 p.
4. Methods of formation of social and economic systems' development scenarios / V.V. Kulba, D.A. Kononov, S.A. Kosyachenko, A.N. Shubin. M.: SINTEG, 2004. 296 p.
5. Temel T., Janssen W., Karimov F. The Agricultural Innovation System of Azerbaijan: An Assessment of Institutional Linkages // International Service for National Agricultural Research. ISNAR Country Report. 2002. No. 64. 57 p.
6. Takeo Yamada, Leslie R. Foulds. A graph-theoretic approach to investigate structural and qualitative properties of systems: A survey // Networks. 2006. Vol. 20. Iss. 4. P. 427-452.
7. The research of passing road and transport accidents by graphic-analytical method / A.P. Botyan, D.G. Lappo, D.V. Kapskiy, E.I. Gaba, V.K. Volkov // NIRS – 2005: col. of theses. X Republican scient. conf. of students and post-graduate students of higher schools of Byelorussia: in 3 parts. Part 2. 2005. P. 61.
8. Leontief W.W. The structure of American economy, 1919-1939. Fair Lawn. N. J: Oxford University Press, 1951.