

10 **Эткин, Р. Х.** Городская структура / Р. Х. Эткин // Математическое моделирование. – 1989. – С. 235–247.

*A. BAGIMOV*

*Moscow State University of Railway Engineering*

## **SIMULATION OF THE INTERACTION OF TRANSPORT AND INFORMATION FLOWS IN EXPORT COAL SHIPMENTS TOWARDS SEA PORT**

A technique for modeling the interaction of transport and information flows on the basis of mathematical analysis.

Получено 12.10.2012

---

---

**ISSN 2225-6741. Рынок транспортных услуг  
(проблемы повышения эффективности).  
Вып. 5. Ч. 2. Гомель, 2012**

---

УДК 656.225.073.4

*A. V. БАГИМОВ*

*Г.И. БУХАЛО, канд. техн. наук, доцент*

*Московский государственный университет путей сообщения*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СУБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОГО РЫНКА ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ УГЛЯ НА ЭКСПОРТ ЧЕРЕЗ МОРСКИЕ ПОРТЫ**

Описаны подходы к математическому моделированию взаимодействия субъектов транспортного рынка

В настоящее время экспорт угля является важной транспортно-экономической проблемой, о чем свидетельствует наличие многочисленных ежедневных справок, подаваемых в секретариат Департамента управления перевозками ОАО «РЖД», а именно:

- о погрузке угля на экспорт через порт Восточный;
- работе порта Восточный по выгрузке вагонов с углем;
- работе портов Северо-Кавказской железной дороги с экспортными углями;

- работе морских портов с экспортными грузами;
- погрузке экспортных грузов через порты Украины с железными дорогами России;
- работе портов Автово, Высоцк, Выборг, Мурманск с экспортными углями;
- а также:
  - еженедельного отчета о наличии и выгрузке вагонов с экспортными грузами на припортовые железные дороги для морских портов;
  - ежемесячного отчета о выгрузке вагонов с экспортными грузами морскими портами России и других стран,
  - других справок и отчетов.

Учитывая возрастающую сложность, перманентную изменчивость, глобальную динамику, взаимосвязанную конъюнктуру экспортного рынка угля, а также имплицитруемые этими факторами процессы (достаточно упомянуть на постоянно изменяющуюся специализацию припортовых складов), руководство ОАО «РЖД», ВНИИЖТ и ВНИИАС пришло к выводу о необходимости систематического анализа и моделирования упомянутых выше процессов. В качестве примера реалий жизни приведем выдержку из письма, направленного директором компании “CARBOTRANS S.A.L” А. Хафезом в адрес ОАО «РЖД»: «Компания ... заинтересована в оптимизации организации перевозок в адрес порта Восточный путем увеличения количества кодов углей различных марок, ранее таких кодов не имевших. Кодификация грузов по маркам и отправителям позволила бы нам давать четкие инструкции по оформлению перевозочных документов в соответствии с требованиями и интересами железной дороги и нашими, в плане приемки, складирования, технологии учета и движения на складских площадях порта».

Экспортная работа с углем проводится в настоящее время в портах:

1 Российской Федерации:

- Автово, Высоцк, Выборг, Мурманск Октябрьской железной дороги;
- Туапсе, Ейск, Таганрог Северо-Кавказской железной дороги;– Восточный (ст. Находка-Восточная) Дальне-Восточной железной дороги;
- 2 Украины: порт Южный (ст. Береговая) Одесской железной дороги;
- 3 стран Балтии: Таллинн, Рига, Вентспилс.

Зарождение транспортных и грузовых потоков с экспортным углем происходит в угольных бассейнах Западно-Сибирской, Восточно-Сибирской, Дальне-Восточной и Красноярской железных дорог. Часть экспортного угля поступает из северо-восточных районов КНР ввиду явной выгоды его перевозки по территории России и перевалки в морском порту Восточный.

Управление доставкой экспортного угля (как и вообще внешнеторговых грузов, независимо от их номенклатуры) может быть эффективным только при наличии полной информации о состоянии элементов СДВТГ. Важным фактором является наличие информации:

- о работе морских портов в целом;
- заполнении складов, причалов и наличии судов в портах в частности;
- погрузке экспортных грузов, в частности угля, черных металлов и т.д.;
- следовании поездов с выделенными грузами в адрес портов, причем важна информация о дислокации и продвижении грузопотоков по конкретным контрактам.

В беспрепятственном продвижении транспортных потоков сдерживающим фактором являются отцепки от угольных маршрутов из-за перелома весовых норм по станции Хабаровск-2, а также по технической неисправности. Для уменьшения их негативных последствий и – в идеальном случае – их ликвидации необходим учет и статистика конкретных причин задержек (несвоевременная смена бригад, перелом веса, технические неисправности, нарушение плана формирования и т.д.), по видам маршрутов, по срокам задержки, по станциям и дорогам.

Перечень объектов может быть расширен или сужен в зависимости от степени подробности анализа. Более того, каждое из множеств  $X$ ,  $T$ ,  $G$ ,  $Y$ ,  $F$ ,  $E$  и  $P$  может быть описано более детально как объединение других множеств. В частности, из элементов можно выделить подмножества элементов однородного типа:

- угледобывающие предприятия, объединяемые в угольные бассейны;
- станции, на которых формируется грузовой поток;
- транзитные железнодорожные станции, учет которых необходим для сопряжения с информационной базой и учета продвижения груза и его задержек (информационными потоками);
- морские порты – своеобразные перекрестья, в которых фокусируются пучки грузов, отправляемых со станций угледобывающих бассейнов и подвигаемых перевалке на морские суда;
- грузоотправители, грузополучатели и грузовладельцы.

Одной из наиболее важных проблем, связанных с экспортом угля, является анализ экономических аспектов его прохождения через морские порты. Доставка угля железнодорожным транспортом, его перевалка на морские суда и дальнейшая транспортировка морем может рассматриваться как комплекс параллельно происходящих и взаимодействующих между собой процессов, для моделирования которых может быть применена теория взаимодействующих процессов (ТВП) [6].

Напомним, что ТВП разрабатывалась первоначально для описания широкого круга машинных применений по управлению процессами и дискретному моделированию событий, начиная с торговых автоматов и кончая сложными вычислительными системами с разделяемыми ресурсами. Поэтому является желательной разработка варианта такой теории, учитывающей реалии функционирования СДВТГ с целью ее логистизации. Попытаемся сделать некоторый обзор наших размышлений в этом направлении с использованием терми-

нологии и обозначений, которые подробно разъяснены профессором Куренковым П. В. в работе “Математическая модель функционирования пункта взаимодействия железнодорожного и водного транспорта” [4].

В качестве основных действий, с помощью которых можно комбинировать отдельные процессы  $P$  и  $Q$ , предлагается использовать следующие операции:

- детерминированный, недетерминированный и генеральный выборы (“|”, “||”, “|||”);
- рекурсия и операция неподвижной точки (“ $x \rightarrow P$ ”, “ $\mu P(x \rightarrow P)$ ”);
- последовательная и параллельная композиция (“ $P ; Q$ ”, “ $P \parallel Q$ ”);
- чередование, сокрытие и подчинение (“ $P \parallel Q$ ”, “ $P \setminus Q$ ”, “ $P // Q$ ”).

С помощью этих действий, например, процесс *ПЕРЕВАЛКА*, служащий узловым процессом во взаимодействии транспортных единиц *ВАГОН* и *СУДНО*, может быть описан через процессы, соответствующим следующим объектам управления: *ПРИЧАЛ*, *ПЕРЕГР-ФРОНТ*, *ПУТЬ*, *СКЛАД*, *ПЕРЕГР-МЕХАНИЗМ*, *ОТПРАВКА* [4].

По нашему мнению, следует ввести еще ряд действий, обоснованием для чего являются следующие факторы:

- для описания взаимодействия грузовых потоков в пункте перевалки имеет смысл использовать понятие абстрактного транспортера и операции сцепления процессов:

*ПОГРУЗКА >> ВАГОН >> ПЕРЕВАЛКА >> СУДНО;*

- для описания задержек и отцепок, связанных с функционированием процесса *ВАГОН* (а также неполадок в функционировании процесса *ПЕРЕГР-МЕХАНИЗМ*) имеет смысл использовать понятия прерывания (“ $\wedge$ ”) и катастрофы (“ $\Delta$ ”):

*ВАГОН  $\wedge$  ОТЦЕПКА,*  
*ВАГОН  $\Delta$  ТЕХНИЧЕСКАЯ НЕИСПРАВНОСТЬ ВАГОНА.*

Естественной структурой, накапливающей материальные объекты и сцепляющей транзакции взаимодействующих процессов, моделирующих грузовые потоки, является *СКЛАД*. Однако данная структура замыкает на себя и весомый информационный поток, связывая между собой такие объекты, как: объединения-экспортеры, марки угля, станции отправления, фирмы-отправители и др. Отдельные элементы вышеуказанного информационного потока находятся между собой в некотором отношении, которое может быть задано матрицей инцидентности, что позволяет использовать топологический анализ их взаимосвязи.

Сосредоточим свое внимание на анализе связности, который может быть проведен с помощью исследования цепей  $q$ -связи и групп гомологии.

Два симплекса  $S_i$  и  $S_j$  комплекса  $K$  соединены цепью  $q$ -связи, если существует последовательность симплексов  $S_i, S_k, S_l, \dots, S_j$  в  $K$  такая, что два последовательных симплекса обладают общей гранью, причем размерности этих общих граней не меньше  $q$ . Понятие  $q$ -связности симплексов является отношением эквивалентности, и, таким образом, задача изучения глобальной структуры связности комплекса  $K$  сводится к рассмотрению классов  $q$ -эквивалентности. Если комплекс  $K$  имеет размерность  $n$ , то для каждого значения  $q = 0, 1, \dots, n$  можно определить число различных классов  $q$ -эквивалентности  $Q_q$  и составить структурный вектор комплекса  $Q = (Q_n, Q_{n-1}, \dots, Q_1, Q_0)$ .

Образно говоря,  $q$ -связность можно представить так. Предположим, что мы обзираем комплекс  $K$  через очки, которые дают возможность видеть его только в размерности  $q$  и выше. Тогда мы увидим комплекс  $K$  разбитым на  $Q_q$  несвязных частей.

Помимо структурного вектора комплекса, важной характеристикой является эксцентриситет, определяющий степень интегрированности каждого отдельного симплекса в структуре всего комплекса. Эксцентриситет симплекса  $S$  вычисляется по формуле:

$$ecc(S) = \frac{d(S) - q(S)}{q(S) + 1},$$

где  $d(S)$  – размерность симплекса  $S$ ;  $q(S)$  – наибольшее значение  $q$ , при котором симплекс  $S$  становится связанным с каким-либо другим симплексом из  $K$ .

Проведем анализ связности применительно к подсистеме, включающей объединения-экспортёры угля  $S_1, \dots, S_{18}$  и станции отправления  $X_1, \dots, X_{24}$ , связывая их экспортом угля через морской порт Восточный. Соответствующая матрица инцидентности  $\Lambda$  имеет вид, представленный на рисунке 1.

В результате проведенного  $q$ -анализа в применении к комплексу  $K = K_S(X; \Lambda)$  получены следующие разбиения  $K_q$  на компоненты связности:

$$\begin{aligned} q = 12-10, & \quad Q_q = 1, \quad K_q = (\{S_6\}); \\ q = 9-5, & \quad Q_q = 2, \quad K_q = (\{S_6\}, \{S_8\}); \\ q = 4, & \quad Q_q = 1, \quad K_q = (\{S_6, S_8\}); \\ q = 3, & \quad Q_q = 2, \quad K_q = (\{S_2\}, \{S_6, S_8\}); \\ q = 2, & \quad Q_q = 3, \quad K_q = (\{S_2\}, \{S_3\}, \{S_5, S_6, S_8\}); \\ q = 1, & \quad Q_q = 5, \quad K_q = (\{S_2, S_4\}, \{S_3, S_5, S_6, S_8\}, \{S_7\}, \{S_{14}\}, \{S_{17}\}); \\ q = 0, & \quad Q_q = 1, \quad K_q = (\text{все } S_i). \end{aligned}$$

Структурный вектор комплекса  $K$  равен  $Q = (1^3, 2^5, 1, 2, 3, 5, 1)$ . Значения  $d(S)$ ,  $q(S)$  и эксцентриситета каждого симплекса сведем на рисунке 2.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что  $S_3$  и  $S_6$  (Гленкор и Карботранс) являются наиболее выделяющимися среди всех прочих в своей деятельности по экспорту угля. Аналогичные рассуждения и анализ можно провести с применением обратного отношения  $\Lambda'$  и комплекса  $K' = K_X(S; \Lambda')$ , что дает результаты:

	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>	X <sub>15</sub>	X <sub>16</sub>	X <sub>17</sub>	X <sub>18</sub>	X <sub>19</sub>	X <sub>20</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>24</sub>
S <sub>1</sub>	1																							
S <sub>2</sub>		1	1	(l)	(l)																			
S <sub>3</sub>						1	1	1																
S <sub>4</sub>			1	1																				
S <sub>5</sub>									1	1	1													
S <sub>6</sub>							1	*	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
S <sub>7</sub>															1						1			
S <sub>8</sub>		1			1	1	*		1	1	1						1		1			1	1	
S <sub>9</sub>		1																						
S <sub>10</sub>									1															
S <sub>11</sub>	1																							
S <sub>12</sub>									1															
S <sub>13</sub>								1																
S <sub>14</sub>								1																1
S <sub>15</sub>								1																
S <sub>16</sub>	1																							
S <sub>17</sub>	1							1																
S <sub>18</sub>								1																

Условные обозначения:

Объединения экспортеры

S1 Якутуголь  
 S2 Иркутскуглесбыт  
 S3 Гленкор  
 S4 Камчатоблавлоттранс  
 S5 Секант-Трейд  
 S6 Карботранс  
 S7 БМТ Карго  
 S8 Магаданская ТЭЦ  
 S9 Сумитомо  
 S10 S&T Group  
 S11 АО Денисовское  
 S12 АМД Хандельс  
 S13 Дальинторг  
 S14 Ардис  
 S15 Кузбасс-Восток  
 S16 Фармасинтез  
 S17 Стандарт-М  
 S18 Белопадинское

Станции отправления экспортного угля

X1 Нерюнгри  
 X2 Челутай  
 X3 Касьяновка  
 X4 Черемхово  
 X5 Тулун  
 X6 Байкаим  
 X7 Ленинск-Кузнецкий-I  
 X8 Партизанск  
 X9 Ерунаково  
 X10 Ленинск-Кузнецкий-II  
 X11 Мереть  
 X12 Разрез  
 X13 Забойщик  
 X14 Бочаты  
 X15 Черкасов Камень  
 X16 Углерод  
 X17 Ленинск-Кузнецкий  
 X18 Латыши  
 X19 Белово  
 X20 Тырган  
 X21 Прокопьевск  
 X22 Чегдомын  
 X23 Красный Камень  
 X24 Камышта

Рисунок 1 – Матрица инцидентности A

$$q = 5, Q_q = 1, K_q = (\{S_8\});$$

$$q = 4, Q_q = 2, K_q = (\{S_8\}, \{S_9\});$$

$$q = 3, Q_q = 3, K_q = (\{S_1\}, \{S_8\}, \{S_9\});$$

Симплекс	$d(S)$	$q(S)$	$ecc(S)$
$S_1$	0	0	0
$S_2$	3	1	1
$S_3$	2	0	2
$S_4$	1	1	0
$S_5$	2	2	0
$S_6$	12	4	8/5
$S_7$	1	0	1
$S_8$	9	0	1
$S_9$	0	0	0
$S_{10}$	0	0	0
$S_{11}$	0	0	0
$S_{12}$	0	0	0
$S_{13}$	0	0	0
$S_{14}$	1	0	1
$S_{15}$	0	0	0
$S_{16}$	0	0	0
$S_{17}$	1	0	1
$S_{18}$	0	0	0

Рисунок 2 – Значения  $d(S)$ ,  $q(S)$  и эксцентриситета симплексов

$q = 2$ ,  $Q_q = 4$ ,  $K_q = (\{S_1\}, \{S_2\}, \{S_8\}, \{S_9, S_{10}, S_{11}\})$ ;

$q = 1$ ,  $Q_q = 8$ ,  $K_q = (\{S_1\}, \{S_2, S_5\}, \{S_3, S_4\}, \{S_6\}, \{S_7\}, \{S_8\}, \{S_9, S_{10}, S_{11}, S_{17}, S_{19}\}, \{S_{15}\})$ ;

$q = 0$ ,  $Q_q = 2$ ,  $K_q = (\{\text{все } S_i \text{ кроме } S_2-S_5\}, \{S_2, S_3, S_4, S_5\})$ , и, следовательно, структурный вектор комплекса  $K'$  равен  $Q' = (1, 2, 3, 4, 8, 2)$ .

Для значений  $d(X)$ ,  $q(X)$  и  $ecc(X)$  получены результаты, приведенные на рисунке 3.

Отсюда следует, что наиболее выделяющимися среди станций отправления, на которых ведется работа по экспорту угля, являются Нерюнгри и Партизанск.

Рассмотрим отношение  $\Lambda$  с гомологической точки зрения. Для соответствующего комплекса  $K$  гомология тривиальна, и соответствующие числа Бетти  $b_0 = 1$ ,  $b_i = 0$  (для всех  $i > 0$ ). Это указывает на “заполненность”, “сбалансированность” сложившейся экономической подсистемы. Однако, при условии, что две единицы в матрице  $\Lambda$  заменить нулями, как указано, одномерные симплексы  $S_2 = X_2 + X_3$ ,  $S_4 = X_3 + X_4$ , и грань симплекса  $S_8$ :  $S_8^{24} = X_2 + X_4$  образуют нетривиальную гомологию  $S_2 + S_4 - S_8^{24}$  (1-цикл, не являющейся границей цепи). Аналогично, при добавлении двух единиц на места, указанные в матрице  $\Lambda$  звездочками, двумерный симплекс  $S_3 = X_6 + X_7 + X_8$  и грани симплексов  $S_6$  и  $S_8$ :  $S_6^{789} = X_7 + X_8 + X_9$ ,  $S_8^{679} = X_6 + X_7 + X_9$  образуют нетривиальную гомологию  $S_3 + S_6^{789} + S_8^{679}$  (2-цикл, не являющейся границей цепи).

Симплекс	$d(X)$	$q(X)$	$ecc(X)$
$X_1$	3	0	3
$X_2$	2	1	1/2
$X_3$	1	1	0
$X_4$	1	1	0
$X_5$	1	1	0
$X_6$	1	0	1
$X_7$	1	0	1
$X_8$	5	0	5
$X_9$	4	2	2/3
$X_{10}$	2	2	0
$X_{11}$	2	2	0
$X_{12}$	0	0	0
$X_{13}$	0	0	0
$X_{14}$	0	0	0
$X_{15}$	1	0	1
$X_{16}$	0	0	0
$X_{17}$	1	1	0
$X_{18}$	0	0	0
$X_{19}$	1	1	0
$X_{20-24}$	0	0	0

Рисунок 3 – Значения  $d(S)$ ,  $q(S)$  и эксцентриситета симплексов с применением для анализа обратного отношения  $\Lambda'$  и комплекса  $K'$

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что соответствующие объединения, а именно: Иркутскуглесбьт, Камчатоблавлототранс, Магаданская ТЭЦ, или же Гленкор, Карботранс, Магаданская ТЭЦ, при соответствующих (гипотетических) изменениях в своей экономической деятельности могут войти в отношения сложной конкуренции, либо, что параллельная деятельность этих объединений создаст (при тех же изменениях) экономическую нишу, которая может оказаться выгодной для других экспортеров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Александров, П. С.** Комбинаторная топология / П. С. Александров. – М.-Л. : Гостехиздат, 1947. – 660 с.
- 2 **Жардемов, Б. Б.** Формирование и развитие структур железнодорожных станций и узлов (методы исследования и оценки) / Б. Б. Жардемов. – М. : МИИТ, 1999. – 150 с.
- 3 **Касти, Дж.** Большие системы. Связность, сложность и катастрофы / Дж. Касти. – М. : Мир, 1982. – 216 с.
- 4 **Куренков, П. В.** Математическая модель функционирования пункта взаимодействия железнодорожного и водного транспорта / П. В. Куренков // Исследование

математических моделей технологических систем железнодорожного транспорта: межвуз. сб. науч. тр. / СамИИТ. – Самара, 1992. – Вып.6. – С. 99–107.

5 **Понтрягин, Л. С.** Основы комбинаторной топологии / Л. С. Понтрягин. – М. : Наука, 1976. – 136 с.

6 **Хоар, Ч.** Взаимодействующие последовательные процессы: пер. с англ. / Ч. Хоар. – М. : Мир, 1989. – 264 с.

7 **Эткин, Р. Х.** Городская структура / Р. Х. Эткин // Математическое моделирование. – 1989. – С.235–247.

*A. BAGIMOV,*

*G. BUHALO, PhD, associate professor*

*Moscow State University of Railway Engineering*

## **SIMULATION OF INTERACTION BETWEEN A SUBJECT OF THE TRANSPORT MARKET IN RAIL TRANSPORT OF COAL FOR EXPORT SEA PORTS**

The approaches to the mathematical modeling of the interaction of the transport market.

Получено 12.10.2012

---

---

**ISSN 2225-6741. Рынок транспортных услуг  
(проблемы повышения эффективности).  
Вып. 5. Ч. 2. Гомель, 2012**

---

УДК 629.41.001.76

*С. М. БАБАН, канд. экон. наук, доцент*

*А. И. ГУСЕВА*

*Московский государственный университет путей сообщения*

## **РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ В СИСТЕМЕ КОЛЕСО – РЕЛЬС КАК ФАКТОРА ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ОАО «РЖД»**

В соответствии с инновационной программой развития ОАО «РЖД» до 2015 года рассмотрены методические подходы к разработке механизма управления ресурсосберегающими технологиями как фактора конкурентоспособности.

В соответствии с диалектикой развития любая экономическая система зарождается, развивается, достигает, ослабевает и прекращает свое существо-