

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ПРИ ТРАНЗИТНЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗКАХ\*

*О.Н. Ларин, З.В. Альметова*

Приводятся результаты анализа неравномерности объемов по направлениям транзитных грузопотоков и ее влияния на эффективность эксплуатации грузового транспорта при обратном движении. Рассмотрены теоретические вопросы влияния неравномерности грузопотоков на расположение транзитных терминалов, предложена модификация методики размещения транзитного терминала, обеспечивающая снижение транспортной работы всей системы.

*Ключевые слова:* транспортная система, транзитный потенциал, автомобильные перевозки, терминальные комплексы.

Правительство России ставит задачи увеличения объемов международных транзитных перевозок по России, которые, благодаря выгодному транспортно-географическому положению страны, способны обеспечить отправителям грузов экономии времени и денег, а для России дополнительные доходы от экспорта транспортных услуг. Роль и значение повышения эффективности транзитных перевозок для экономики страны и ее регионов, а также основные направления и задачи дальнейшего развития транзитного потенциала транспортных систем рассмотрены в работах [1, 2]. Транспортная система Челябинской области традиционно выполняет большую работу по обслуживанию транзитных потоков грузов и пассажиров [3, 4]. Однако эффективность транзитных грузоперевозок остается недостаточно эффективной по ряду причин, обусловленных, прежде всего, геоэкономическими и организационными факторами.

Объемы и направления транзитных грузопотоков в основном обусловлены местом расположения грузообразующих и грузопоглощающих пунктов, наличием, конфигурацией и пропускной способностью магистральных путей сообщения различных видов транспорта. Влияние транзитобразующих факторов на объемы и динамику транзитных грузопотоков рассмотрены в работах [5, 6].

Автотранспортная система Челябинской области обслуживает международный транзит со странами Европы в восточном направлении (по федеральным дорогам М-5 «Урал» и М-51 «Байкал» в Казахстан, Монголию и Китай) и южном направлении (по федеральным дорогам М-5 «Урал» и М-36 в Казахстан, Китай и страны Средней Азии). Наибольшие объемы международного транзита со странами Европы проходят через МАПП «Бугри-стое» и МАПП «Петухово», расположенные на Российско-казахстанской границе.

Результаты выполненного анализа статистических и отчетных данных о распределении международных автомобильных перевозок грузов и транспортных средств, осуществляемых через МАПП, расположенные в Челябинской области, свидетельствуют о неравномерности объемов транзитных грузопотоков по направлениям движения и низкой эффективности эксплуатации транзитного транспорта, следующего в порожнем состоянии с низкой степенью загрузки при его движении в направлении наименьшего объема грузопотока (табл. 1, 2).

Неравномерность грузового потока, проходящего через Челябинскую область, является основной причиной высокой доли порожних грузовых автомобилей в структуре «въездного» потока, следующего по направлению с наименьшим объемом перевозок.

Анализ статистической связи по МАПП «Бугри-стое» между распределением количества грузовых автомобилей и объемами перевозок грузов по направлениям (рис. 1) показывает, что по направлению «въезд» не наблюдается наличие линейной связи между количеством въезжающих автомобилей и объемом ввозимых грузов, но по направлению «выезд», наоборот, прослеживается четкая линейная связь между соответствующими переменными.

Коэффициент парной корреляции для въезжающих грузовых автомобилей и величины ввозимых грузов составил  $r = 0,01$ ; для выезжающих грузовых автомобилей и вывозимых грузов  $r = 0,99$ ; по суммарному обороту грузовых автомобилей  $r = 0,99$ . Близкое к единице значение коэффициента корреляции для суммарного оборота грузовых автомобилей объясняется синхронным ростом грузообмена за счет существенного превышения суммарного объема вывозимых грузов над суммарным объемом ввозимых грузов, что и определило тенденцию роста общего объема грузооборота.

\* Научная статья подготовлена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы».

Таблица 1

Средняя загрузка транспортных средств, участвующих в международных сообщениях через МАПП «Бугристое», и их распределение по направлениям движения, шт.

Годы	Средняя загрузка транспортного средства, т/ед.		Направление движения транспортных средств					
			выехало из России			въехало в Россию		
	вывоз	ввоз	всего	груженные	порожние	всего	груженные	порожние
2009	12,7	3,7	29,14	26,24	2,9	22,7	1,6	21,1
2010	12,6	4,55	37,5	34,8	2,5	30,7	2,1	28,6
2011	12,9	4,7	45,5	43,2	2,3	42,5	2,4	40,1

Таблица 2

Распределение по направлениям международных автомобильных перевозок грузов, осуществляемых через МАПП «Бугристое», т

Годы	Направление перевозок				
	Ввоз в Россию	Вывоз из России			
		всего	из Челябинской области	из других регионов России	транзит
2009	83 567	366 632	89 343	145 006	132 283
2010	139 273	481 932	106 185	205 416	170 331
2011	193 486	647 004	125 138	274 978	246 888

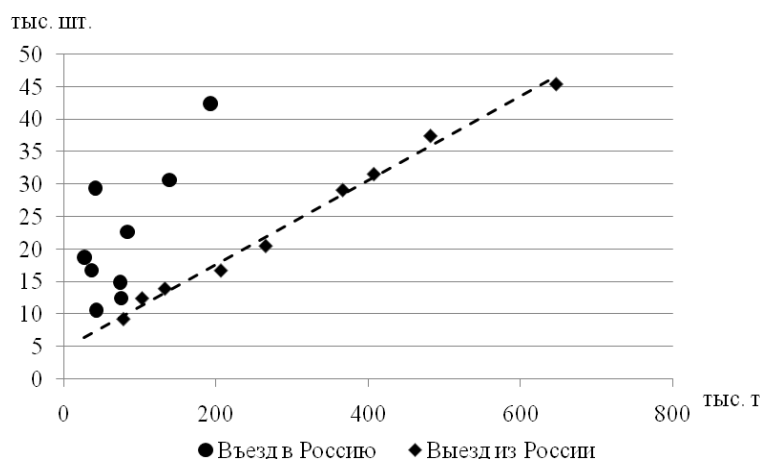


Рис. 1. Взаимосвязи объемов перевозимых грузов и количества грузовых автомобилей по направлениям

Аналогичная асинхронная динамика перевозимых объемов транзитных грузов и загрузки транспортных средств характерна и для других транзитных направлений, проходящих по транспортной системе Челябинской области. В то же время результаты анализа показывают, что для каждого транзитного направления также характерна неравномерность грузопотока по регионам назначения. Считаем, что данную закономерность необходимо использовать для повышения эффективности использования провозных возможностей транспортной системы путем концентрации и перераспределения грузов в транзитных терминалах.

Правительство Челябинской области в рамках разработки масштабного проекта «Шелковый путь» приняло решение о строительстве на территории Челябинской области крупного логистического центра общей стоимостью 1,2 млрд евро.

Создание такого центра, который будет заниматься приемом, сортировкой и хранением грузов, планируется на пересечении магистральных железных и автомобильных дорог в Челябинской области. Его строительство позволит перераспределить из Казахстана на территорию России грузопоток, идущий сухопутным путем из стран Азии, в первую очередь, Китая.

Эффективность транзитных перевозок различными видами транспорта через транспортные узлы и, как следствие, их транзитные провозные возможности во многом зависят от места расположения транзитных транспортных узлов. Задача определения места расположения транзитного транспортного узла по содержанию подобна задаче поиска места расположения распределительного центра (склада) в регионе, координаты которого определяются из условия минимума транспортной

работы на перевозку грузов от поставщиков к потребителям по аналогии как определяются координаты «центра тяжести» физической системы, но имеет особенности.

Метод «центра тяжести» является одним из основных методов, используемых в современных компаниях США для размещения промышленных предприятий, в том числе распределительных логистических центров.

Метод «центра тяжести» учитывает расположение уже существующих  $i$ -х отправителей ( $i \in I$ ) и  $j$ -х получателей ( $j \in J$ ), которое задается в декартовой системе координат  $Oxy$ , расстояние между ними  $l_{ij}$  и объемы перевозимых грузов  $Q_{ij}$  от  $i$ -го отправителя  $j$ -му получателю. Для определения места расположения транзитного терминала отправителям и получателям присваивают координаты  $(x_i, y_i)$  и  $(x_j, y_j)$  соответственно. Выбор начала системы координат  $(x_0, y_0)$  определяют произвольно. Координаты транзитного терминала  $B_x$  и  $B_y$  находят как «центр тяжести» физической системы «отправители–получатели» по формулам:

$$B_x = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i x_i + \sum_{j=1}^m Q_j x_j}{\sum_{i=1}^n Q_i + \sum_{j=1}^m Q_j}, \quad (1)$$

$$B_y = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i y_i + \sum_{j=1}^m Q_j y_j}{\sum_{i=1}^n Q_i + \sum_{j=1}^m Q_j}, \quad (2)$$

при  $i \in I, \quad i=1, \dots, n, \quad j \in J, \quad j=1, \dots, m,$

$$\sum_{i=1}^n Q_i = \sum_{j=1}^m Q_j, \quad (3)$$

где  $B_x$  – координата по оси  $Ox$  места расположения транзитного терминала;  $B_y$  – координата по оси  $Oy$  места расположения транзитного терминала;  $x_i$  и  $y_i$  – координаты места расположения  $i$ -го отправителя;  $x_j$  и  $y_j$  – координаты места расположения  $j$ -го получателя;  $Q_i$  и  $Q_j$  – соответственно объемы отправления  $i$ -го отправителя и объемы получения  $j$ -го получателя:

$$Q_i = \sum_{j=1}^m Q_{ij},$$

$$Q_j = \sum_{i=1}^n Q_{ij}.$$

Выражение (3) описывает условия баланса объемов отправления и получения в системе. Теоретико-методологической основой метода «центра тяжести» является концепция транспортного районирования и процедура нахождения предельных точек в топологических пространствах. С этих позиций метод «центра тяжести» рассматривается в качестве наиболее приемлемого способа реше-

ния задачи определения местоположения транзитного терминала в границах транспортной системы региона.

Основное достоинство метода «центра тяжести» состоит в том, что он позволяет найти оптимальное место расположения терминала по критерию грузооборота. Размещение терминала в точке с координатами  $(B_x, B_y)$  обеспечивает своеобразный баланс объемов транспортной работы  $P$ , выполняемой при доставке грузов от всех пунктов отправления к транзитному терминалу и от транзитного терминала ко всем пунктам назначения:

$$\sum_i P_i = \sum_j P_j.$$

Метод «центра тяжести» в упрощенном виде основан на допущениях о равенстве всех транспортных расходов в прямом и обратном направлениях и об отсутствии потерь при неполной загрузке транспорта. Одним из преимуществ этого метода является «простота» его использования, так как для поиска оптимального решения не требуется применение сложных вычислительных процедур. Вместе с тем данный метод не позволяет учитывать дополнительные факторы, которые не всегда напрямую связаны с положением объектов в системе координат (прежде всего, связанные с землепользованием и др.), но могут оказывать существенное влияние на расположение транзитных терминалов. Поэтому на практике полученное решение по методу «центра тяжести» рассматривается в качестве первоначального варианта размещения транзитного терминала, которое может быть скорректировано с учетом существующих ограничений различной природы (геологических, экологических и пр.).

Вместе с тем метод центра тяжести в классической постановке не дает оптимального решения по (1) и (2) в отношении расположения транзитного терминала, предназначенного для интеграции транзитных грузопотоков, так как он не учитывает конфигурацию магистральных путей сообщения различных видов транспорта, проходящих через транзитный регион, и неравномерность грузопотоков по направлениям и регионам назначения.

Например, пусть имеется транспортная система, через которую проходят магистральные пути сообщения, пересекающие ее границы в пунктах  $A, B, C, D$  соответственно (рис. 2). Каждый из этих пунктов рассматривается в качестве источников транзитных грузопотоков с заданными объемами (табл. 3). С использованием выражений (1) и (2) определено местоположение «центра тяжести»  $Z$  системы  $ABCD$  с координатами:  $B_x = 218$ ;  $B_y = 204$ .

Расстояние  $l_{A-Z}$  между пунктами  $A$  и  $Z$  может быть определено по формуле

$$l_{A-Z} = \sqrt{(x_Z - x_A)^2 + (y_Z - y_A)^2}. \quad (4)$$

Величина  $P$  транспортной работы (грузооборота) между всеми транзитными пунктами  $A, B, C$  и  $D$  и транзитным терминалом  $Z$  составила:

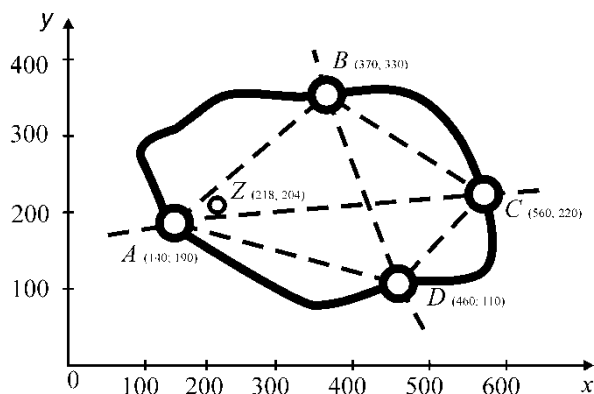


Рис. 2. Пример координатной сетки с расположением пунктов прохождения транзитных потоков через транспортную систему

$$P = Q_{Ai} \cdot l_{A-Z} + Q_{Bi} \cdot l_{B-Z} + Q_{Ci} \cdot l_{C-Z} + Q_{Di} \cdot l_{D-Z} + Q_{Aj} \cdot l_{A-Z} + Q_{Bj} \cdot l_{B-Z} + Q_{Cj} \cdot l_{C-Z} + Q_{Dj} \cdot l_{D-Z} = 1622,24 \text{ (млн т-км)},$$

где  $Q_{Ai}$ ,  $Q_{Bi}$ ,  $Q_{Ci}$ ,  $Q_{Di}$  – величина общего исходящего грузопотока из пункта  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ , т;  $l_{A-Z}$ ,  $l_{B-Z}$ ,  $l_{C-Z}$ ,  $l_{D-Z}$  – расстояние транспортировки соответственно от пункта  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  до терминала  $Z$ , км;  $Q_{Aj}$  – величина общего входящего грузопотока соответственно в пункт  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ , т.

Теперь выясним, что дает полученное решение выбора места расположения  $Z$  по формулам (1) и (2) с точки зрения интеграции транзитных грузопотоков в пункте  $Z$ . Цель создания транзитного транспортного узла состоит в том, чтобы обеспечить максимальное использование провозных возможностей транспортной системы при доставке грузов по наиболее загруженному направлению – в данном случае из пункта  $A$ . Для этого необходимо, чтобы максимальный объем грузопотока перевозился наименьшим количеством большегрузного транспорта на как можно большие расстояния. То есть должна быть обеспечена максимальная концентрация всего грузопотока из пункта  $A$  в сообщении  $A-Z$  до транзитного транспортного узла  $Z$ . Сообщения пункта  $A$  с остальными пунктами  $B$ ,  $C$  и  $D$  осуществляются через транзитный терминал  $Z$ . Это не только обеспечит исключение доли порожнего транспорта в общем количестве транзитного транспорта, следующего по максимально грузонапряженному направлению, но и снизит общее количество используемого транспорта путем укрупнения грузовых партий и привлечения к работе большегрузного подвижного состава, а также повысит степень использования его грузоподъемности. То есть транзитный терминал  $Z$  должен быть максимально удален от «входа» в транспортную систему максимального по объему транзитного грузопотока, в данном случае пункта  $A$ .

Однако визуальный анализ расположения  $Z$  показывает (см. рис. 2), что место его расположения не дает нужного результата. С учетом исходных данных (см. табл. 3) видно, что наибольшие потоки транзитных грузов исходят из пункта  $A$

объеме 3000 тыс. т, которые распределяются по другим направлениям. Соответственно при таких значениях расположение центра тяжести  $Z$  оказалось максимально приближенным к пункту  $A$ .

Следовательно, можно предположить, что при интеграции транзитных грузопотоков в транзитном терминале  $Z$  с полученными координатами  $B_x = 218$ ;  $B_y = 204$  не будет обеспечена минимальная транспортная работа при доставке максимального объема грузопотока на большее расстояние за счет использования меньшего количества подвижного и его максимальной загрузки.

В этой связи для определения места расположения транзитного транспортного узла предлагается «метод центра тяжести» модифицировать. При этом должны учитываться следующие теоретические положения. Так как ставится задача перевозки максимального объема на наибольшее расстояние, то следует учитывать распределение объемов грузопотоков из каждого транзитного пункта в корреспондирующий с ним транзитный пункт, находящийся на соответствующем транзитном направлении. Следовательно, максимальный грузопоток будет формироваться в направлении тех пунктов, через которые проходит не наибольший исходящий объем грузопотока, а наибольший объем входящего грузопотока из других, связанных с ним, пунктов. В табл. 4 приведено распределение объемов грузопотоков между корреспондирующими пунктами.

В этом случае каждый пункт является  $i$ -м отправителем ( $i \in I$ ) исходящего транзитного потока в объеме  $Q_{ij}$  и  $j$ -м получателем ( $j \in J$ ) входящего в него из других  $i$ -х пунктов транзитного потока в соответствующих объемах  $Q_{ij}$  (рис. 3). Для определения места расположения транзитного терминала отправителям и получателям присваивают координаты  $(x_i, y_i)$  и  $(x_j, y_j)$ . В данном случае будут учитываться только координаты пунктов-получателей  $(x_j, y_j)$ .

Для расчета координат центра тяжести  $Z_0$  у транзитных  $Z$  должны учитываться не исходящие объемы грузопотока, а объемы входящих, принимаемых ими грузопотоков (нижняя строка в табл. 4):

$$B_x = \sum_{j=1}^m Q_{ij} x_j / \sum_{j=1}^m Q_{ij}, \tag{5}$$

$$B_y = \sum_{j=1}^m Q_{ij} y_j / \sum_{j=1}^m Q_{ij}, \tag{6}$$

$$\text{при } j \in J, \quad j=1, \dots, m, \quad \sum_{j=1}^m Q_{ij} = \sum_{i=1}^n Q_{ij},$$

где  $B_x$  – координата по оси  $Ox$  места расположения транзитного транспортного узла;  $B_y$  – координата по оси  $Oy$  места расположения транзитного транспортного узла;  $x_j$  и  $y_j$  – координаты места расположения  $j$ -го транзитных пунктов-получателей;  $Q_{ij}$  – объемы входящих транзитных грузопотоков в  $j$ -е пункты-получатели от  $i$ -х пунктов-отправителей.

Таблица 3

Объемы исходящих транзитных грузопотоков из транзитных пунктов и их координаты

Пункты	Объем транзитных грузопотоков, тыс. т	Координаты $Ox$	Координаты $Oy$
$A$	3000	140	190
$B$	450	370	330
$C$	350	560	220
$D$	200	460	110

Таблица 4

Объемы исходящих и входящих транзитных грузопотоков между транзитными пунктами

Пункты-отправители	Пункты-получатели				Объем исходящих транзитных грузопотоков, тыс. т
	$A_j$	$B_j$	$C_j$	$D_j$	
$A_i$	–	700	2200	100	3000
$B_i$	100	–	100	250	450
$C_i$	100	250	–	0	350
$D_i$	100	0	100	–	200
Объем входящих транзитных грузопотоков, тыс. т	300	950	2400	350	4300

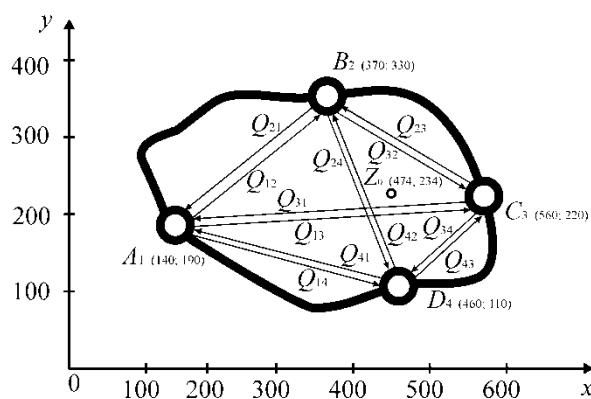


Рис. 3. Схема сообщений между транзитными пунктами в системе координат

С использованием выражений (4) и (5) определено новое местоположение транзитного транспортного узла  $Z_0$  как центра тяжести системы транзитных пунктов  $\{A, B, C, D\}$  с координатами:  $B_x = 474$ ;  $B_y = 234$  (см. рис. 3).

Новая величина общего грузооборота в системе для транзитного терминала  $Z_0$  составила  $P_0 = 1618,1$  млн т-км, снижение грузооборота составило:  $\Delta P = P - P_0 = 4,1$  млн т-км.

Таким образом, выдвинутое предположение о целесообразности учёта не только объемов, но и направлений транзитных грузопотоков при расположении транзитного терминала, является обоснованным. Полученное решение с использованием модифицированной на основе приведенных выше теоретических положений методики размещения транзитного терминала обеспечивает снижение транспортной работы и повышение эффективности эксплуатации автомобильного транспорта при транзитных перевозках.

### Литература

1. Ларин, О.Н. Развитие транзитного потенциала автотранспортных систем регионов: научная монография / О.Н. Ларин, А.П. Приходько, В.Д. Шепелёв, А.А. Кажяев. – М.: ВИНТИ РАН, 2010. – 344 с.
2. Глобальные задачи развития и интеграции транспортных систем / Л.Б. Миротин, О.Н. Ларин // Транспорт: наука, техника, управление. 2007. – № 5. – С. 20–21.
3. Развитие транзитного потенциала транспортной системы как фактор повышения предпринимательской активности в регионе / О.Н. Ларин, В.В. Вязовский // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2011. – № 41. – С. 53–56.
4. Ларин, О.Н. Транзитный потенциал Челябинской области: проблемы и перспективы / О.Н. Ларин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика». – 2006. – Вып. 6. – № 12(67). – С. 244–247.

5. Миротин, Л.Б. *Интегрированная модель транспортной системы регионов российской федерации* / Л.Б. Миротин, О.Н. Ларин // *Транспорт: наука, техника, управление*. – 2008. – № 1. – С. 25–28.

6. Ларин, О.Н. *Методологические аспекты интеграции различных видов транспорта в единую систему* / О.Н. Ларин // *Вестник транспорта*. – 2007. – № 7. – С. 10–13.

*Поступила в редакцию 12 июня 2012 г.*

**Ларин Олег Николаевич.** Заведующий кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта», доктор технических наук, профессор, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск). Область научных интересов – транспортные системы. Тел. (351) 267-94-16. E-mail: larin\_on@mail.ru

**Oleg Nikolaevich Larin,** Doctor of Science (Engineering), professor, head of the Department of Automobile Transport Exploitation of the South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: transportation system. Tel.: (351) 267-94-16. E-mail: larin\_on@mail.ru

**Альметова Злата Викторовна.** Старший преподаватель кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта», кандидат технических наук, доцент, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск). Область научных интересов – транспортные системы. Тел. (351) 267-91-21. E-mail: zlata.almetova@yandex.ru

**Zlata Viktorovna Almetova,** a senior teacher of the Department of Automobile transport exploitation, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of South Ural State University, Chelyabinsk. Tel.: (351) 267-91-21. E-mail: zlata.almetova@yandex.ru