

МОДЕЛЬ АВТОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ)

Статья посвящена разработке функциональной модели региональной автотранспортной сети, выполненной на примере Оренбургской области. Исследования проводились по принципу пассивного эксперимента с использованием методов системного анализа. Предложены структурно-иерархическая схема системы и модель ее функционирования.

Ключевые слова: транспортная система, моделирование, декомпозиция, структура парка, транспортные средства.

Автотранспортная сеть является одним из центральных элементов в системе автомобильных перевозок. Обусловлено это тем, что по существу автотранспортная сеть, а точнее, топология и параметры, определяющие количественную и качественную стороны ее функционирования, оказывают непосредственное влияние на формирование требований к транспортным средствам (ТС) и инфраструктуре автотранспортного предприятия (АТП). Так, например, от количества маршрутов, их протяженности и объема перевозок зависят состав, структура и тип парка, а топология, количество связей и объем перевозок автотранспортной сети влияют на тип АТП и его элементы инфраструктуры. Исходя из этого, можно сказать, что состояние автотранспортной сети оказывает влияние на величину затрат выполнения транспортной операции [1, 2, 3, 4].

Следовательно, прогнозируя развитие автотранспортной сети, необходимо наряду с исследованиями в области развития транспортных средств проанализировать основные направления развития автотранспортной сети и определить ее характеристики. В общем случае математическая модель автотранспортной сети описывается следующим образом.

Пусть P – произвольное конечное множество элементов P_i , D – совокупность некоторых (не обязательно всех) упорядоченных пар $d_{ij} = (p_i, p_j)$, каждая из которых составлена из различных элементов множества P . Набор двух множеств P и D будем называть автотранспортной сетью (P, D) и говорить, что она задается или порождена этими множествами. Элементы p_i множества P называются пунктами автотранспортной сети (P, D) , элементы $d_{ij} = (p_i, p_j)$ множества D – коммуникациями сети. Коммуникация d_{ij} связывает пункты p_i и p_j причем она начинается в p_i и заканчивается в p_j . Таким

образом, задать автотранспортную сеть – это значит указать множество ее пунктов и систему коммуникаций при заданных ограничениях. Если при некоторых i и j сеть содержит коммуникации d_{ij} и d_{ji} , то они называются противоположными.

Произвольная автотранспортная сеть может быть представлена матрицей, элементы d_{ij} которой вычисляются согласно правилу

$$d_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если коммуникация } d_{ij} \in D; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

В представленной ниже матрице автотранспортной сети, однозначно определяющей ее топологию, можно видеть, в какие пункты допускается транспортировка из пункта, соответствующего данной строке. Столбцы матрицы позволяют выявить коммуникации, заканчивающиеся в фиксированных пунктах. Причем каждый пункт не может потребить больше, чем его пропускная способность. Матрица автотранспортной сети содержит следующие условия:

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8		P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7
P_1	0	1	0	0	0	1	1	1	P_5	0	0	1	0	0	0	0
P_2	0	0	1	0	0	0	0	0	P_6	0	1	1	0	0	1	0
P_3	0	1	0	1	0	0	0	0	P_7	1	1	0	0	1	0	0
P_4	0	0	0	0	0	1	0	0	P_8	0	0	0	1	1	0	0

Основными элементами автотранспортной сети являются узлы (АТП) и звенья (маршруты).

Взаимодействие системы автомобильных перевозок (САП) с окружающей (внешней) сре-

дой осуществляется через входы и выходы и представляется канонической моделью.

Перечень входов:

X_1 – информационный: плановые задания по объему перевозок; технические описания, инструкции по эксплуатации, технологическое оборудование;

X_2 – материальный (объектовый): поток грузов и пассажиров, подлежащих перевозке;

X_3 – энергетический: вновь вводимый тип транспортного средства (автобусы; грузовые автомобили; грузовые отсеки пассажирских автобусов, используемых при смешанных перевозках; временно переоборудуемые под другой вид перевозок автомобили); здания и сооружения; электроэнергия и топливо для обеспечения производственной деятельности; топливо и ГСМ; технологическое оборудование; финансовые и прочие материальные ресурсы;

X_4 – кадровый: персонал;

X_5 – возмущения, нарушающие плановую работу системы (незапланированные условия и ограничения, налагаемые интересами отдельного субъекта, случайные изменения спроса, условия и ограничения, налагаемые на систему природой и т. д.).

Перечень выходов:

Y_1 – информационный: информация о выполнении плана; информация о технической вооруженности и финансовом состоянии системы; единичные запросы информации;

Y_2 – материальный (объектовый): пассажиры и грузы, доставленные к месту назначения, пасс-км, т-км;

Y_3 – энергетический; выбывание подвижного состава и отдельных элементов (по плану, по выработке ресурса или неисправности); потери энергии; износ технологического оборудования; износ зданий и сооружений;

Y_4 – кадровый: временная не работа персонала (отдых); потери кадров;

Y_5 – возмущения: незапланированное воздействие на отдельную составляющую отрасли; изменение сроков доставки грузов и пассажиров; загрязнение окружающей среды; отрицательное воздействие на население и т.д.

Цели системы и ограничения на потребные для их реализации ресурсы фактически закладываются в перспективных и годовых планах работы автотранспортных сетей, которые включают в себя, только в более детализированном

виде, большую часть связей системы с окружающей средой.

Цель функционирования автотранспортной сети (обеспечение заданного объема перевозок) задается извне, при ее формировании степень развития самой системы перевозок учитывается только в обратной связи. Возможности выполнения цели определяются как выделенными из внешней среды ресурсами, так и внутренней организацией системы, а качество выполнения цели полностью определяется внутренней структурой и организацией работы системы.

Анализ внутренней структуры и организации системы автомобильных перевозок (САП), отдельных ее элементов, факторов и возможных вариантов их изменения и взаимосвязь можно выявить построением иерархической структуры системы.

В основу необходимой декомпозиции по уровням иерархии или построения структурно-иерархической схемы может быть положен любой признак, удовлетворяющий целям анализа.

В схеме, приведенной на рисунке 1, выделено пять уровней.

В качестве основной цели выступает достижение согласованности (по горизонтали) иерархических признаков уровней автотранспортной сети с транспортными средствами, что обеспечило бы возможность выполнения анализа их влияния друг на друга. Рассмотрим это на следующем примере.

Известно, что между техническим уровнем развития ТС и инфраструктурой АТП существует двусторонняя связь. Так, достигнутый технический уровень оснащенности АТП и отдельных его служб определяет его возможности по типу эксплуатируемых ТС. В свою очередь, тенденции научно-технического прогресса в автомобилестроении влияют на технический облик АТП. В то же время общим определителем перспективных направлений научно-технического прогресса автомобилестроения и АТП является спрос на автоперевозки, в том числе их объем и топология.

Несоответствие сложившейся или перспективной структуры типа и численности ТС системы САП спросу на них не позволяет в полной мере формировать экономически оптимальную сеть транспортных сообщений, увеличивать номенклатуру перевозимых грузов и расширять сферу использования транспорта в конкретном

субъекте Российской Федерации. Для решения задач формирования экономически оптимальных перевозок требуется анализ динамики таких основных количественных показателей автотранспортной сети, как: общая протяженность, количество связей, тип грузов, грузооборот и средняя дальность перевозок.

В результате проведенного анализа с использованием декомпозиции САП на элементы (маршруты, АТП и ПС) установлена тесная их взаимосвязь. Использование структурно-иерархических схем, построенных по вышеизложенному принципу, удобно и с точки зрения распределения текущих и единовременных затрат по элементам системы.

Таким образом, построение канонической модели и иерархической структуры САП позволяет провести комплексный и всесторонний анализ ее развития, выявить объективные и субъективные факторы, оказывающие как положительное, так и отрицательное влияние на ее функционирование.

Развитие автотранспортной сети во времени может идти по трем направлениям: первое – за счет появления новых связей между имеющимися пунктами доставки (внутреннее развитие), второе – в результате дополнительного включения в автосеть новых пунктов (внешнее развитие) и третье – при одновременном осуществлении первых двух направлений (комплексное развитие).

Выделение этих трех направлений в развитии автотранспортной сети имеет принципиальное значение при прогнозировании объема перевозок и средней дальности перевозок, потребных материальных, трудовых и денежных ресурсов на осуществление транспортного процесса и, как следствие этого, – определения оптимальной по типу и численности структуры требуемого парка ТС. На рисунке 2 схематично показаны варианты развития автотранспортной сети на примере территориальных районов А, Б, В.

Развитие автотранспортной сети по первому варианту (рисунок 2, а) характеризуется появлением новых маршрутов между пунктами, расположенными в пределах данного района. Такое направление развития автотранспортной сети свойственно развитым экономическим районам с большим количеством крупных промышленных центров, высоким уровнем плотности населения, межрайонной специализацией и кооперацией. При этом наблюдается ускоренное заполнение автотранспортной сети по сравнению с его расширением ($\Delta n < \Delta m$; где Δn – число новых точек – городов, Δm – количество новых связей автотранспортной сети). Кроме того, удельный вес объема грузов, ввозимых в данный район, меньше удельного веса отправляемого груза в другие экономические районы. Примером такого развития является центральная и южная часть Оренбургской области.

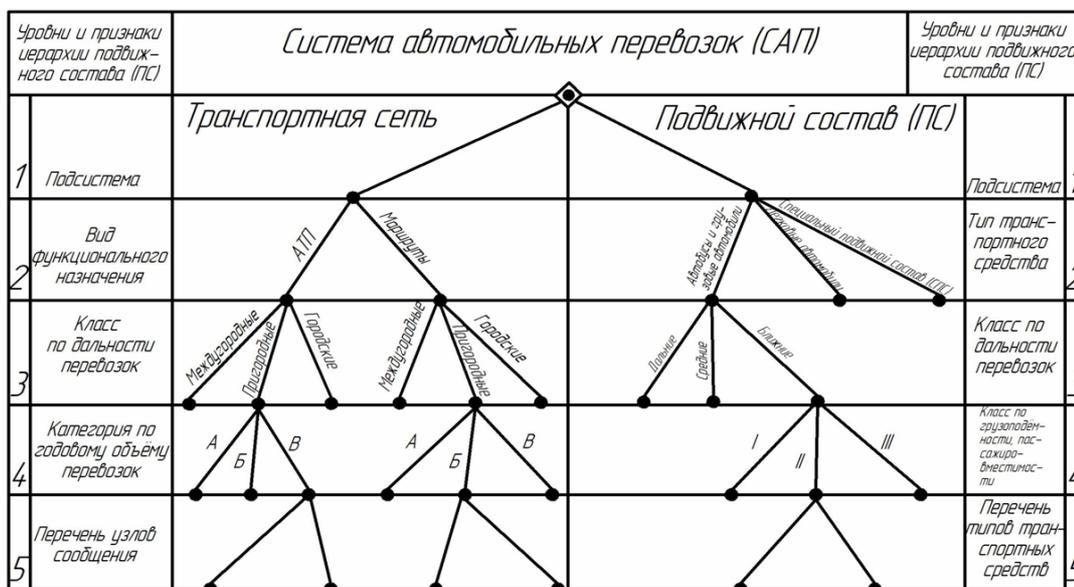


Рисунок 1. Укрупненная (пятиуровневая) структурно-иерархическая схема САП

Формирование автотранспортной сети по второму варианту (рисунок 2, б) свойственно для развивающихся районов, большинство которых находится на начальной стадии их комплексного развития, районов с относительно небольшим количеством крупных промышленных центров. Как правило, развитие автотранспортной сети по этому направлению обусловлено необходимостью удовлетворения резко возрастающего спроса развивающихся экономических районов, и в первую очередь их промышленных центров, в продукции индустриальных районов страны. При этом автотранспортная сеть имеет ярко выраженную географическую направленность с относительно большой протяженностью маршрутов. Примером развития автотранспортной сети по такому пути служат северные и западные территориальные районы Оренбургской области.

Третий вариант (рисунок 2, в) развития автотранспортной сети наблюдается при наличии регионального комплекса отдельных экономических районов, находящихся на различных уровнях развития. В зависимости от уровня развития регионального комплекса в целом, т.е. соотношения развитых и развивающихся экономических районов, изменение его автотранспортной сети происходит как за счет заполнения, так и за счет ее расширения.

Примером такого развития может служить динамика автотранспортной сети регулярных

грузовых перевозок восточных районов и Оренбургской области в целом.

В общем, о развитии автотранспортной сети регионального комплекса или отдельного экономического района можно судить по изменению показателя ее транспортной плотности (%), который определяется следующим образом:

$$\tau = \frac{L_{\Sigma}}{S} = \frac{L_1 + L_2}{S}, \quad (2)$$

где L_{Σ} – суммарная протяженность внутренних и внешних автотранспортных связей района; L_1 – суммарная протяженность внутренних связей; L_2 – суммарная протяженность внешних связей; S – площадь исследуемого района.

Очевидно, что транспортная плотность (ТП) автотранспортной сети во времени может изменяться в пределах $\tau \leq \tau \leq \bar{\tau}$. Минимальные значения показателя ТП принимают, когда данный район вообще не имеет транспортных связей, а максимальные – если все транспортные пункты данного района имеют автотранспортную связь между собой и со всеми транспортными пунктами других районов, не обязательно связанных между собой, т.е. когда число транспортных связей m равно максимальной величине:

$$m_{\max} = \frac{(N+N') \cdot (N+N'-1) - N' \cdot (N'-1) \cdot N \cdot (N-1)}{2} + NN', \quad (3)$$

где N – число АТП исследуемого района;

N' – число АТП прочих рассматриваемых районов.

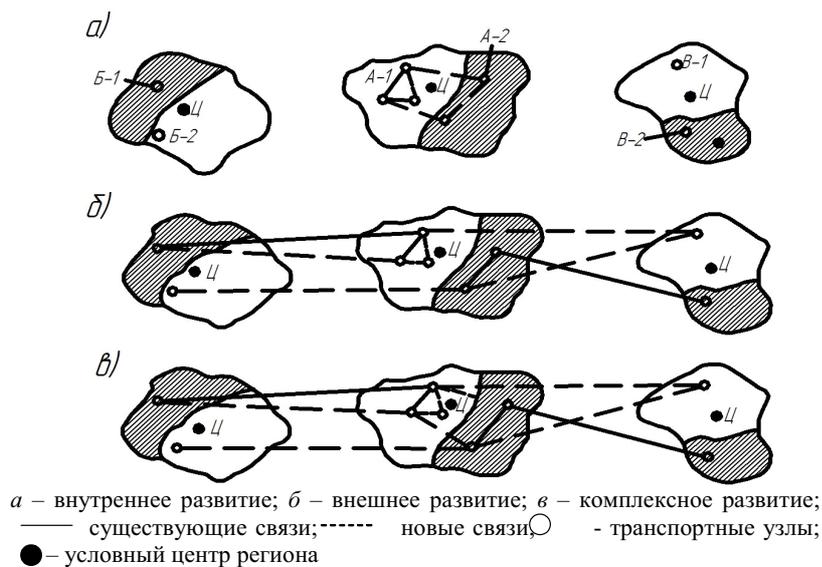


Рисунок 2. Варианты развития автотранспортной сети на примере территориальных регионов Оренбургской области А, Б, В.

$$N' = \sum_1^i N_j, \quad (4)$$

где N_j – число АТП j -го района.

Зная, что ТП можно рассчитать исходя из средней протяженности маршрутов, т.е.

$$\tau = \frac{L_{cp} m}{S}, \quad (5)$$

где L_{cp}^p – средняя протяженность маршрутов, среднюю протяженность маршрутов определяем по формуле

$$L_{cp} = \sum_1^m \frac{l_i}{m} \quad (6)$$

где l_i – протяженность i -го маршрута $i = (1, 2, \dots, m)$,

Имея формулу (3), можно $L_{\Sigma} = L_{\Sigma}^{\max}$ представить в следующем виде:

$$L_{\Sigma}^{\max} = L_{cp}^p \frac{N(N-1)}{2} + \sum_{j=1}^i L_{cp} \left[\frac{(N + N_j)(N + N_j - 1) - N_j(N-1) - N(N-1)}{2} \right], \quad (7)$$

где L_{cp}^p – среднее расстояние между АТП данного района; $L_{cp} \cong L_{ц}$ – среднее расстояние между АТП данного и j -го районов; L_{Σ}^{\max} – расстояние между центрами тяготения промышленности данного и j -го районов.

Тогда, подставив в выражение (2) значение L_{Σ}^{\max} из уравнения (7), получим уравнение определения максимально возможной ТП в исследуемый момент времени $\tau = \tau_{\max}(t_i)$. Рассчитанная таким образом τ служит верхним пределом развития автотранспортной сети, а в качестве ее нижнего предела принимается ТП, сложившаяся на начало исследуемого периода.

Показатель ТП, как это было показано выше, зависит от ее топологической схемы и характеризует количественную сторону автотранспортной сети.

Очевидно, что разработка прогнозов и выбор стратегий развития автотранспортной сети должны выполняться с учетом динамики изменения грузооборота W и типа груза Q за год. Если рассматривать только τ без учета этих показателей, то можно сделать вывод, что, как это следует из выражения (2), чем больше τ , тем лучше развитие сети. Однако это применимо только в случае, когда по всем L_i величина $Q/L_i = const (i = 1, 2, \dots, m, \text{ где } m - \text{ число маршрутов})$.

В действительности же расширение автотранспортной сети может происходить и происходит за счет возникновения маршрутов с разным объемом перевозок. В этом случае может возникнуть вариант, когда в автосеть включаются маршруты большой протяженности, но со сравнительно малыми грузопотоками. В другом же случае наоборот, т.е. расширение автотранспортной сети происходит за счет того же количества связей, но с относительно меньшей протяженностью и сравнительно большим объемом перевозок. Тогда, если за характеристику развития автотранспортной сети принимать только показатель плотности, первый вариант окажется лучшим. Однако с точки зрения экономической целесообразности более эффективным может быть второй вариант. В связи с этим за критерий, характеризующий уровень комплексного развития автотранспортной сети, можно принять показатель отдачи единицы плотности автотранспортной сети по количеству отправленного груза Q/τ .

Показатель Q/τ учитывает не только тип грузов и пассажиров в расчете на 1 км пути, но и площадь территории, охваченной автосетью, т.е. характеризует не только автотранспортную сеть, но и в определенной степени транспортное развитие района.

Не менее важным, особенно при анализе интенсивности использования ПС, является показатель отдачи единицы транспортной плотности по грузообороту W/τ , который, по существу, учитывает обеспеченность автотранспортной сети необходимым типом и количеством ТС, так как

$$W = \sum_1^m L_i q_i n_{pi} = \sum_1^m L_i Q_i, \quad (8)$$

где q_i – тип автомобиля на i -м маршруте; n_{pi} – число рейсов на i -м маршруте за исследуемый период времени; Q_i – тип грузов на i -м маршруте за исследуемый период времени.

Очевидно, что с ростом числа перевозок по каждой линии и с ростом ее грузонапряженности доля расходов на доставку каждой тонны груза или тысячи пассажиров будет уменьшаться. Таким образом, показатели Q/τ и W/τ , характеризующие интенсивность и экстенсивность эксплуатации транспортной сети различных районов или региона в целом, прямо связаны с рентабельностью перевозок и, следовательно, с экономической эффективностью эксплуатации сети.

В целом же рост показателей Q/τ и W/τ свидетельствует о прогрессивном характере развития перевозок.

Таким образом, комплексная оценка развития автотранспортной сети и анализ причин возникновения и продолжительности каждого конкретного порогового уровня в ее формировании позволяют производить коррекцию прогнозных значений объема перевозок, грузообо-

рота, типов груза и средней протяженности маршрута, полученных методом экстраполяции их временных рядов (трендов). В конечном итоге это обеспечивает возможность разработки оптимальных стратегий развития автотранспортной сети, что позволяет повысить точность формирования оптимальной структуры транспортных средств.

14.09.2011

Список литературы:

1. Любимов, И.И. К вопросу формирования рациональной структуры городского пассажирского транспорта в городе Оренбурге / И.И. Любимов, Н.З. Султанов, Е.В. Бондаренко // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета) – 2009. – №3. – С. 21–25.
2. Любимов, И.И. Показатели спроса на услуги городского пассажирского транспорта (на примере г. Оренбурга) / И.И. Любимов // Вестник Оренбургского государственного университета – 2009. – №9. – С. 139–143.
3. Любимов, И.И. Оптимизация структуры подвижного состава городского пассажирского транспорта / И.И. Любимов, И.Т. Ковриков, Н.З. Султанов, А.П. Фот // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2010. №1. С. 206-210.
4. Любимов, И.И. Управление функциональными процессами городских пассажирских перевозок / И.И. Любимов, Вагапова Н.В., Портников Б.А., Султанов Н.З. // Интеллект. Инновации. Инвестиции: Академический журнал. – 2009. №2. С. 49–56.

**Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки России
в рамках федерального целевого проекта
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России»
на 2009–2013 годы на тему: «Научные и инженерные основы повышения
качества функционирования транспортно-технологических систем»
(государственный контракт №14.740.11.0983)**

Сведения об авторах:

Любимов Игорь Ильич, доцент кафедры автомобилей и безопасности движения
Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
E-mail: lyubimov@mail.osu.ru

Султанов Наиль Закиевич, заведующий кафедрой систем автоматизации производства
Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, профессор
E-mail: sultanov@mail.osu.ru

Ковриков Иван Тимофеевич, профессор кафедры машин и аппаратов химических и пищевых
производств Оренбургского государственного университета, доктор технических наук, профессор
E-mail: kovrikovit@mail.ru

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел.: (3532) 75-41-82; (3532) 37-25-12; (3532) 37-24-64

UDC 656.022.8(470.56)

Lubimov I.I., Sultanov N.Z., Kovrikov E.T.

Orenburg state university, e-mail: lyubimov@mail.osu.ru

MODEL OF ROAD NETWORK IN THE REGION (FOR EXAMPLE, ORENBURG REGION)

The article is devoted to the development of a functional model of regional road network, carried out by the example of Orenburg region. Studies were conducted on the principle of passive experiment using methods of systems analysis. Structurally-hierarchical system diagram and a model of its functioning were proposed.

Key words: transport system, modeling, decomposition, the structure of the park, transportation.

Bibliography:

1. Lyubimov, II On the question of forming a rational structure of the urbanpassenger transport in the city of Orenburg / II Lyubimov, NZ Sultanov, EV Bondarenko // Bulletin of Moscow Automobile and Road Institute (State Technical University) – 2009. – №3. – P. 21 – 25.
2. Lyubimov, II Indicators of demand for urban passenger transport (by the example of Orenburg) / II Lyubimov // Bulletin of Orenburg State University, th: – 2009. – №9.– P. 139 – 143.
3. Lyubimov, II Optimization of the structure of the rolling stock of urban passenger transport / II Lyubimov, IT Kovrikov, AP Phot // Bulletin of the Irkutsk State Technical University: – 2010. №1. P. 206-210.
4. Lyubimov, II Management of functional processes of urban passenger transport / II Lyubimov, NV Vagapova, BA Portnikov, NZ Sultanov // Int. Innovation. Investment.: Academic journal. – 2009. №2. P. 49-56.