

УДК 656.11

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЕМКОСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ РАЙОНОВ С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

П.Ф. Горбачёв, профессор, д.т.н., А.С. Колий, ассистент, ХНАДУ

Аннотация. Представлена методика определения сбалансированной емкости транспортных районов центральной части города по прибытию и отправлению автомобилей за счет включения в расчет количества автомобилей, которые осуществляют движение по транспортной сети.

Ключевые слова: транспортные районы, матрица корреспонденций, емкости, центр города, транспортные потоки, транспортная сеть.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ МІСТКОСТЕЙ ТРАНСПОРТНИХ РАЙОНІВ З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТРАНСПОРТНІЙ СИСТЕМІ

П.Ф. Горбачов, професор, д.т.н., О.С. Колій, асистент, ХНАДУ

Анотація. Представлено методику визначення збалансованої місткості транспортних районів центральної частини міста по прибуттю та відправленню автомобілів за рахунок включення в розрахунки кількості автомобілів, які перебувають у русі на транспортній мережі.

Ключові слова: транспортні райони, матриця кореспонденцій, місткості, центр міста, транспортні потоки, транспортна мережа.

METHOD OF CALCULATION OF TRANSPORT AREA CAPACITY BASED ON DYNAMIC PROCESSES WITHIN THE TRANSPORT SYSTEM

P. Gorbachov, Professor, Doctor of Technical Science, O. Koliy, assistant, KhNAHU

Abstract. The method of determining a balanced capacity of transport area of downtown according to the arrival and departure of vehicles at the expense of taking into account the number of vehicles that form the traffic within the transport network is presented.

Key words: transport areas, the matrix of correspondence, capacities, downtown, traffic, the transport network.

Введение

Сегодня, благодаря быстро развивающимся компьютерным технологиям, основным направлением решения комплексных задач в области организации дорожного движения является математическое моделирование транспортных потоков. Основой для него является матрица корреспонденций, которая определяется с помощью емкостей прибытия и отправления автомобилей в транспортных районах (ТР) города. При этом на этапе сбора статистической транспортной информации

натурным способом возникают расхождения в суммарном объеме прибытия и отправления автомобилей, что влечет за собой необходимость дальнейшей балансировки емкостей ТР.

Анализ публикаций

Для определения емкости ТР необходимо собрать и обработать большой объем статистической транспортной информации. Например определение емкостей ТР города может осуществляться при помощи специ-

альных датчиков или видеокamer, а также при помощи счетчиков. Так, в г. Дрезден измерения проводятся приблизительно в 150 точках. С другой стороны, существует система анкетирования, которая позволяет определять структуру использования разных видов транспорта [1]. Получение подобной информации позволяет проектировщикам рассчитать емкости ТР, где главным условием для их определения есть равенство суммарных объемов прибытия и отправления автомобилей [2]

$$\sum_{i=1}^n D_i = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (1)$$

где D_i , A_i – количество отправлений и прибытий автомобилей в ТР за расчетный период, ед.; n – количество транспортных районов.

Для выполнения данного условия, которое является необходимым для корректного расчета матрицы корреспонденций, в общем виде возникает необходимость балансировки емкостей прибытия и отправления автомобилей. В результате для расчета матрицы корреспонденции требуется проводить необоснованные, субъективные преобразования результатов расчетов и натурных наблюдений с целью уравнивать емкости прибытия и отправления [3].

В развитых странах подобная проблема не является актуальной, так как достаточная материально-техническая база позволяет создавать модели исследуемого объекта таких размеров, когда его границы становятся достаточно четкими. Обычно это границы целых городов или регионов [4]. Это означает, что разница между прибытием и отправлением автомобилей становится незначительной за счет полного охвата возможных передвижений внутри моделируемого объекта за достаточно продолжительные периоды времени.

Цель и постановка задачи

Объектом исследования был выбран процесс перемещения и парковки автомобилей в центральной части города на примере Харькова. Центр города в исследованиях выбран не случайно, а исходя из того, что именно в центральной части крупных городов наблюдается наибольшее количество проблем в сфере организации дорожного движения. Особенно остро этот вопрос стоит в городах

с радиально-кольцевой планировкой улично-дорожной сети (УДС), каким является Харьков.

Можно утверждать, что в общем случае без дополнительных преобразований любая статистическая информация о транспортных потоках и процессе парковки автомобилей не будет сбалансированной. Поэтому целью работы является разработка методики балансировки емкостей прибытия и отправления автомобилей в транспортных районах с учетом динамических процессов в транспортной системе на примере центральной части Харькова.

Методика расчета емкостей транспортных районов с учетом динамических процессов в транспортной системе

К основным причинам возникновения неравенства емкостей ТР можно отнести:

- системные – объект исследования имеет сложную динамическую структуру, так как любая поездка, совершаемая автомобилем, начинается и заканчивается в разное время, а все процессы, связанные с перемещениями автомобилей, носят случайный характер, что приводит к постоянно изменяющимся результатам моделирования;
- технологические – при проведении натурных наблюдений могут возникать ошибки и погрешности, связанные с технологией проведения замеров, точностью технических средств обследования и человеческим фактором;
- организационные – проведение натурных наблюдений разными методами приводит к получению разнотипной статистической информации, зачастую относящейся к разным периодам времени, что не позволяет охватить всех состояний объекта.

Технологические и организационные причины возникновения дисбаланса емкостей обычно вызваны стремлением упростить проведение исследований и снизить затраты на их реализацию, чего при достаточных ресурсах можно избежать. Системные причины обусловлены динамической структурой самого объекта исследования, где процесс перемещения автомобилей растянут во времени. В связи с этим средства замеров движения не могут зафиксировать отправление всех автомобилей до начала обследования

ния и их прибытие по его окончании. Для уменьшения влияния системных причин на дисбаланс суммарных емкостей необходима разработка новых подходов к моделированию транспортных потоков.

В процессе формирования транспортной модели территория центра города Харькова была разграничена на пятнадцать внутренних и пятнадцать внешних ТР. Внутренние районы определяют границы проведения натурных обследований и группируют территорию по видам и степени плотности застройки. В отличие от внутренних, внешние ТР размещаются на выездах и въездах ЦЧГ и служат для описания взаимосвязи моделируемого объекта с окружающей территорией. Следует отметить, что внешние ТР районы являются точками обмена транспортных потоков между ЦЧГ и периферией города, а не транспортными районами в общепринятом понимании.

Емкость внутренних ТР определяется количеством автомобилей, которые приезжают к участкам улично-дорожной сети и отъезжают от них. Получение эмпирических значений параметров процесса парковки автомобилей на всей территории центральной части г. Харькова связано с большими трудностями. Практически доступным методом определения полной информации относительно параметров процесса парковки автомобилей есть имитационный эксперимент на основании закономерностей плотности парковки автомобилей возле обочины проезжей части улиц. Полное описание методики определения объема прибытия и отправления автомобилей на обочинах проезжей части улиц представлено в работе [5].

Проведение обследования на внешних ТР существенно отличается от тех, что проводятся на внутренних. Средства наблюдения фиксируют количество выезжающих и въезжающих автомобилей на границах ЦЧГ.

$$D_s = \sum_{ji=1}^{mn} g_{ij}, \quad A_s = \sum_{ji=1}^{mn} q_{ij}, \quad (2)$$

где A_s – количество автомобилей, выезжающих из ЦЧГ, ед.; D_s – количество автомобилей, въезжающих в ЦЧГ, ед.; g, q – автомобили, въезжающие и выезжающие из ЦЧГ, ед.; m – количество точек проведения наблюдений; n – количество транспортных районов.

Все автомобили, которые въезжают в ЦЧГ из периферии или отъезжают от мест парковки в центре, сначала попадают на ее транспортную сеть, где находятся некоторое время. Другими словами, чтобы автомобилю попасть из центрального района в периферийный или наоборот, ему сначала необходимо попасть на транспортную сеть. Совершенно очевидно, что емкости прибытия и отправления автомобилей неразрывно связаны с транспортной сетью города. Таким образом, транспортная сеть может выступать дополнительным условным транспортным районом (УТР) «Транспортная сеть», с которого автомобили отправляются (паркуются или выезжают из ЦЧГ) и прибывают в него (отъезжают от мест парковки или въезжают в ЦЧГ). В связи с этим передвижения автомобилей в ЦЧГ целесообразно представить как взаимодействие трех зон: «Центр», «Периферия» и «Транспортная сеть». В этом случае «Центр» – это совокупность 15 внутренних ТР, «Периферия» – это совокупность 15 внешних ТР. Зона «Транспортная сеть» – это совокупность участков УДС ЦЧГ. Традиционно представление межрайонных транспортных связей осуществляется с помощью двумерной матрицы межрайонных корреспонденций (табл. 1).

Таблица 1 Матрица межрайонных корреспонденций, авт./период*

Отправление	Прибытие			
	d	s	n	$\sum_j h_{ij}$
d	h_{dd}	h_{ds}	h_{dn}	D_d
s	h_{sd}	h_{ss}	h_{sn}	D_s
n	h_{nd}	h_{ns}	h_{nn}	D_n
$\sum_i h_{ij}$	A_d	A_s	A_n	$\sum_{ij} h_{ij} = H$

Примечание. * d – индекс зоны центральных районов, s – индекс зоны периферийных районов, n – индекс зоны транспортной сети ЦЧГ.

Несмотря на специфическое содержание транспортных зон, данная матрица соответствует классическому представлению.

Ячейки каждого ряда i содержат поездки автомобилей, совершаемые в зоны назначения, которые находятся в соответствующих колонках j . Поэтому h_{ij} – корреспонденция, обозначающая количество поездок автомобилей между отправлением i и местом при-

бытия j . Полная совокупность корреспонденций обозначена H . Основная диагональ представляет внутризональные поездки.

Так как зона n – транспортная сеть ЦЧГ – не является для водителей целью прибытия и последующего отправления, то и содержание корреспонденций для зоны n носит специфический характер. Корреспонденции прибытия на транспортную сеть (h_{dn}, h_{sn}) определяются количеством автомобилей, которые двигались по участкам УДС центра в момент начала проведения натурных наблюдений и остановились в центре (h_{dn}) или выехали за его пределы (h_{sn}) в течение периода наблюдений. Корреспонденции отправления из транспортной сети (h_{nd}, h_{ns}) определяются количеством автомобилей, которые находились на транспортной сети ЦЧГ в момент окончания натурных наблюдений и прибыли к местам стоянки в центре (h_{nd}) или выехали из центра (h_{ns}) после окончания натурных наблюдений. Корреспонденция (h_{nn}) в наших расчетах принимается равной нулю, так как среднее время передвижения автомобиля по центру значительно меньше времени проведения натурных наблюдений, а ситуация, когда автомобиль курсирует в центре, не совершая остановок в течение хотя бы одного часа, маловероятна.

Таким образом, системные причины возникновения разницы между суммами емкостей ТР по отправлению и прибытию, благодаря вводу дополнительного элемента в описание объекта, сводятся к разности количества автомобилей, которые находились на УДС ЦЧГ в момент начала и окончания натурных обследований.

$$F_c = |A_n - D_n|. \quad (3)$$

Существуют различные способы определения количества автомобилей на фрагментах УДС [5]. Однако в нашем случае, когда речь идет о достаточно большом по площади объекте, практически пригодным оказался только вариант расчета на основе плотности автомобилей на транспортной сети. Емкости прибытия и отправления автомобилей на транспортную сеть можно определить как произведение средней плотности транспортных средств на протяженность транспортной сети

$$D_n = \rho_n \cdot L_{ц}, A_n = \rho_k \cdot L_{ц}, \quad (4)$$

где ρ_n, ρ_k – плотность автомобилей на транспортной сети до начала и после окончания периода моделирования, авт./100 м; $L_{ц}$ – протяженность транспортной сети с учетом количества полос на ее участках, км.

Плотность транспортной сети ρ определялась на основе подсчета длины очереди автомобилей перед регулируемыми перекрестками. Для этого видеонаблюдение велось на наиболее загруженных участках улиц ЦЧГ. В обследование вошли такие улицы: просп. Ленина, ул. Сумская, ул. Пушкинская, ул. Петровского, ул. Артема, ул. Чернышевская и др. Так как длительность моделирования всех емкостей для данной работы составляет два часа утреннего периода пик с 8⁰⁰ до 10⁰⁰ [6], то для определения плотности автомобилей на сети наблюдения проводились для ρ_n с 7⁵⁰ до 8¹⁰, а для ρ_k – с 9⁵⁰ до 10¹⁰.

В результате была получена выборка плотности загрузки улиц центральной части г. Харькова, которая удовлетворяет необходимому объему наблюдений с 95 % точностью полученных результатов. По результатам обследований, средняя плотность автомобилей на УДС $\rho_n = 1,06$ авт./100 м, а $\rho_k = 2,37$ авт./100 м. Для сети ЦЧГ Харькова протяженностью $L_{ц} = 240,8$ км емкость по прибытию на сеть $A_n = 2553$ авт., емкость убытия $D_n = 5903$ авт., а $F_c = 3351$ авт.

Для определения величины емкостей ТР «Периферия» (D_s, A_s) на примере центральной части Харькова было проведено серии натурных наблюдений в утренний период пик с 8⁰⁰ до 10⁰⁰. Определено, что количество прибывающих автомобилей в центр составляет $A_s = 20534$ авт./2 час, а убывающих $D_s = 24131$ авт./2 час. Так как полученные значения определены с помощью непосредственных наблюдений и учитывают практически все возможные варианты въезда и выезда автомобилей в ЦЧГ, то такие результаты могут считаться достаточно точным отображением реальной ситуации и приниматься как основная расчетная база исследований.

Следующими показателями, определенными на данный момент, являются емкости по прибытию и отправлению автомобилей в ТР «Центр» $D_d = 17463$ авт./2 час, $A_d = 24515$ авт./2 час. Эти значения были определены при помощи имитационного экспе-

римента на основе результатов натуральных наблюдений за процессом парковки автомобилей в центральной части г. Харькова утреннего периода рабочего дня с 8⁰⁰ до 10⁰⁰ [7]. Результаты расчета емкостей представлены в табл. 2.

Таблица 2 Матрица межрайонных корреспонденций, авт./2 час

Отправление	Прибытие			
	<i>d</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	$\sum_j h_{ij}$
<i>d</i>	h_{dd}	h_{ds}	h_{dn}	17463
<i>s</i>	h_{sd}	h_{ss}	h_{sn}	24131
<i>n</i>	h_{nd}	h_{ns}	h_{nn}	5700
$\sum_i h_{ij}$	24515	20534	2553	308

Расхождение между суммарными емкостями можно рассчитать как

$$\Delta F = |A_d + A_s + A_n - D_d + D_s + D_n|, \quad (5)$$

при $\Delta F \leq F_{\max}$;

где F_{\max} – максимальная загрузка транспортной сети ЦЧГ, ед.

Из расчетов видно $\Delta F = 308$ авт., что можно отнести к организационным и технологическим причинам возникновения дисбаланса в суммарных емкостях прибытия и отправления автомобилей.

Выводы

Одной из основных причин несбалансированности фактических суммарных емкостей транспортных районов по отправлению и прибытию является динамический характер транспортного процесса, при котором время прибытия автомобиля в пункт назначения всегда больше времени его отправления. Эффективным способом учета этого фактора является включение в модель спроса дополнительного условного транспортного района «Транспортная сеть». Это позволяет в значительной степени сбалансировать емкости прибытия и отправления автомобилей до вполне допустимого уровня даже для таких

сложно моделируемых объектов как центральная часть города Харькова.

Литература

1. Файт А. Транспортное планирование в Германии с помощью программного обеспечения / А. Файт // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: сб. науч. тр. – 2006. – Вып. 31. – С. 264–268.
2. Шацкий Ю.А. Расчет схемы расселения и трудовых корреспонденции при разработке генерального плана города / Ю.А. Шацкий // Развитие системы городского транспорта. – 1971. – №4. – С. 3–14.
3. Засядько Д.В. Проблеми розрахунку матриці кореспонденцій при моделюванні транспортних мереж міста / Д.В. Засядько // Вісник КДПУ: зб. наук. пр. – 2003. – Вип. 21. – С. 124–126.
4. Горбачов П.Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Горбачов Петро Федорович. – Х., 2009. – 370 с.
5. Гасников А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / А.В. Гасников. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.
6. Горбачов П.Ф. Закономірності зміни інтенсивності обміну транспортних засобів на елементах транспортної мережі міста / П.Ф. Горбачов, О.С. Колій // Восточно-европейский журнал передовых технологий: сб. науч. тр. – 2008. – Вып.(36), 6/3. – С. 24–27.
7. Горбачов П.Ф. Визначення завантаження автомобілями центральної частини м. Харкова на основі закономірностей щільності паркування / П.Ф. Горбачов, О.С. Колій // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2011. – Вып. 27. – С. 210–214.

Рецензент: Е.В. Нагорный, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 12 апреля 2012 г.