

УДК 625.712

К.т.н., доцент, А.Г. Левашев

Иркутский Государственный Технический Университет, Иркутск, Россия

**К ВОПРОСУ О ПОДГОТОВКЕ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Candidate of technical science, associate professor, A. Levashev

Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russia

***TO THE PROBLEM OF THE DATA PREPARATION FOR ROAD TRAFFIC
ORGANIZATION PROJECTING***

The article is devoted to the problem of collecting and preparation the data that is essential for the road traffic organization modeling and projecting. Several tools for such a preparation are discussed. There are some examples of the results of the methods testing.

Постоянный рост уровня автомобилизации, а также бурное развитие третичного сектора приводит к необходимости соответствующего развития улично-дорожной сети города, повышения ее пропускной способности, обеспечения определенного количества мест хранения автомобилей. Кроме того, еще одной проблемой, на которую все чаще инженерам-транспортникам приходится обращать внимание, является организация доступа к объектам тяготения. К такому можно отнести любые объекты, в особенности крупные учреждения торговли и обслуживания населения, при которых имеются места хранения транспорта. Также к объектам, требующим обеспечение доступа, относятся и сами внеуличные стоянки.

Во многих странах уже разработаны собственные нормативные руководства по обеспечению доступа (access control management). Основным принци-

пом таких документов [5] является обеспечение доступа на участке улично-дорожной сети (УДС), при котором будут обеспечены требуемый уровень безопасности движения, достаточная пропускная способность и скорость движения на смежных элементах УДС (например, на участке главной дороги, с которой обеспечивается доступ).

Одним из примеров организации доступа к объекту тяготения, в котором приняла участие Транспортная Лаборатория ИрГТУ (**TLISTU**), является проект организации дорожного движения на участке УДС в районе ул. Ботаническая, ул. Стрелка, ул. Николая Петрова в г. Улан-Удэ.

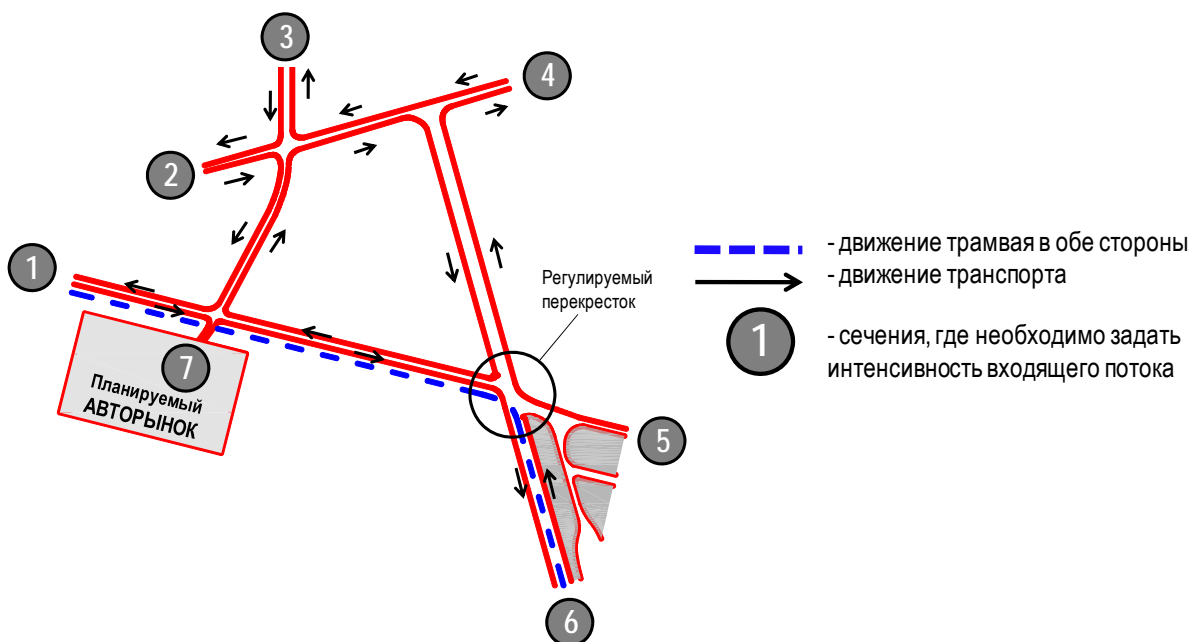


Рис. 1. Участок улично-дорожной сети, где требуется организовать доступ к авторынку, строительство которого планируется

Особенностью данного участка УДС является движение плотных транспортных потоков, образование очередей транспорта, испытывающего вторичные задержки на регулируемом перекрестке, а также движение трамвая (рис. 1).

С учетом сложившихся обстоятельств, для обеспечения доступа к авторынку, строительство которого планируется, необходимо изменение организации движения не только в районе самого проезда к рынку, но и на всех пересечениях, определяющих работу данного участка УДС.

При разработке организации движения для участка УДС, включающего несколько элементов (пересечений), необходимо учитывать возможное влияние каждого из них друг на друга. Для решения такой задачи могут быть использованы средства микромоделирования, позволяющие строить детальную модель участка УДС и моделировать с помощью нее движение транспорта и пешеходов.

Для создания такой модели и дальнейшей работы с ней наряду с подробными топографическими материалами (с указанием расположения инженерных сетей) потребуются следующие исходные данные:

- значения интенсивностей движения и состав транспортного потока, а также характеристики движения транспортных потоков на отдельных элементах рассматриваемого участка УДС (например, скорость движения);
- распределение потоков на пересечениях по направлениям;
- характеристики пешеходных потоков;
- характеристики движения общественного транспорта.

Кроме того, для рассматриваемого примера потребуется такая информация, как емкость вновь строящегося авторынка (количество стояночных мест на территории рынка и объемы поездок населения к рынку), а также характер продолжительности парковки у подобных объектов тяготения.

Особенностью существующих программных продуктов, предназначенных для моделирования (микромоделирования) движения, например VISSIM (Германия) или AIMSUN (Испания), является необходимость детально задавать распределение потоков между сечениями, где зарождаются (генерируются) входящие потоки, и сечениями, где поглощаются (выходят за пределы рассматриваемого участка УДС) потоки. Таким образом, если для одного перекрестка достаточно получить распределение потоков по направлениям на подходах (например, замерив на местности), то для участка УДС, состоящего из нескольких пересечений (как в рассматриваемом примере), потребуется матрица корреспонденций между сечениями (районами) зарождения и поглощения потоков.

Такая матрица в дальнейшем позволит определить маршруты движения транспорта и значения интенсивностей по ним. В результате при моделировании можно добиться более реального движения автомобилей с учетом их перестроения с одной полосы на другую, что существенно влияет на результат.

Учитывая, что в большинстве случаев представляется возможным получить лишь распределения потоков по направлениям на отдельных перекрестках, возникает потребность в дополнительных инструментах, позволяющих восстанавливать матрицы корреспонденций для участков УДС по данным замеров интенсивности движения в определенных сечениях (или по направлениям на подходах к перекресткам).

Уже в течение многих лет исследователи разных стран работают над решением такой задачи [1 – 3, 5]. Существующие программные пакеты включают в себя процедуры, разработанные на основе методов восстановления и корректировки матриц корреспонденций по замерам на сети. Ниже рассмотрен пример оценки матрицы корреспонденций по замерам на сети с помощью методов, заложенных в программах VISUM (Германия) и AIMSUN (Испания), а также метода, разработанного Транспортной Лабораторией ИрГТУ.



Рис. 2. Пример участка сети, для которого необходимо определить матрицу корреспонденций

На рис. 1 представлен участок УДС, для которого проводилось тестирование методов.

При рассмотрении существующих к настоящему моменту возможностей программы VISUM, можно увидеть, что для определения матриц корреспонденций предлагается использовать два альтернативных метода.

Метод Lohse [6]. Один из предлагаемых методов в программе VISUM был разработан D. Lohse. Расчет, выполняемый на каждой итерации можно представить в виде формулы:

$$F_{ij}(n+1) = F_{ij}(n) \cdot q_i(n) \cdot z_j(n) \cdot f(n), \quad (1)$$

при этом

$$q_i(n) = \frac{Q_{ip}}{\sum_j (F_{ij} \cdot Z_{jp} / Z_j(n))}, \quad z_i(n) = \frac{Z_{ip}}{\sum_i (F_{ij} \cdot Q_{ip} / Q_i(n))}, \quad f(n) = \frac{G_p}{G(n)}, \quad (2)$$

где Q_{ip} – измеренное значение интенсивности движения из зоны i ; Z_{jp} – измеренное значение интенсивности движения в зону j ; G_p – сумма измерений интенсивностей движения из всех зон (интенсивностей движения во все зоны); $F_{ij}(n)$ – значение интенсивности движения из зоны i в зону j на итерации n ; $Q_i(n)$ – значение интенсивности движения из зоны i на итерации n ; $Z_j(n)$ – значение интенсивности движения в зону j на итерации n ; G_p – сумма значений всех интенсивностей движения из всех зон (интенсивностей движения во все зоны) на итерации n .

Условия, при которых считается, что искомая матрица получена, выглядят следующим образом:

$$\left| \frac{Q_i(n)}{Q_{ip}} - 1 \right| \leq \varepsilon \text{ для всех зон } i, \quad \varepsilon = \frac{1}{(GF \cdot \sqrt{Q_{ip}})}$$

$$\left| \frac{Z_j(n)}{Z_{jp}} - 1 \right| \leq \varepsilon \text{ для всех зон } j, \quad \varepsilon = \frac{1}{(GF \cdot \sqrt{Z_{jp}})}, \quad (3)$$

где GF – коэффициент точности (по умолчанию принимается равным 3,0).

Метод TFlowFuzzy – основан на энтропийной модели [7]:

$$\max q(t) + q(\bar{s}) + q(\underline{s}), \quad (4)$$

при этом
$$A \cdot t + \bar{s} = \bar{v}, \quad A \cdot t - \underline{s} = \underline{v}, \quad \bar{s} \geq 0, \quad \underline{s} \geq 0, \quad (5)$$

а также

$$q(t) = -\sum_{k=1}^p tk \cdot \ln \frac{tk}{\hat{t}k} - tk, \quad q(\bar{s}) = -\sum_{l=1}^m \bar{sl} \cdot \ln \frac{\bar{sl}}{\hat{s}l} - \bar{sl}, \quad q(\underline{s}) = -\sum_{l=1}^m \underline{sl} \cdot \ln \frac{\underline{sl}}{\hat{s}l} - \underline{sl}, \quad (6)$$

где A – матрица инцидентий, элементы которой равны 1 или 0 (1 означает прохождение маршрута корреспонденции через перегон или поворот на перекрестке, для которых был выполнен замер интенсивности движения); v – вектор значений интенсивностей движения, замеренных на перегоне или на повороте; t – искомый вектор значений корреспонденций (интенсивностей движения на маршрутах между всеми районами); \bar{v}, \underline{v} – векторы максимальных и минимальных значений интенсивностей движения (допускаемые границы) на перегонах (или на поворотах); \bar{s}, \underline{s} – векторы, определяющие величину начального отклонения; \hat{s}, \hat{s} – векторы, определяющие размер допустимых верхнего и нижнего отклонений; $tk, \hat{t}k$ – векторы (значений интенсивностей движения), определяющие искомую матрицу корреспонденций и базовую (старую, корректируемую).

В результате применения такой модели подбирается оптимальное решение в зависимости от устанавливаемых ограничений на значения интенсивностей движения на перегонах (или на поворотах).

Метод оценки матриц корреспонденций по замерам на сети в программе AIMSUN [4]. Разработчиками данной программы предлагается метод оценки (обновления) матриц корреспонденций по замерам на сети (в сечениях или на поворотах), который решается как:

$$\min F(v(t), \hat{v}) = \frac{1}{2} \left\{ \sum [v(g)_a - \hat{v}_a]^2 \right\}, \quad (7)$$

где $v_a(g)$ – значение интенсивности движения, полученное с помощью данного метода; \hat{v}_a – значение интенсивности движения, измеренное на элементе сети a (перегоне или повороте).

Метод, разработанный Транспортной Лабораторией ИрГТУ [1]. В течение последних нескольких лет был разработан и апробирован метод робастного оценивания, основанный на минимизации суммы абсолютных модулей отклонений:

$$\sum_{i=1}^n |e_i| = \sum_{i=1}^n \left| y_i - \sum_{j=1}^m x_j a_{ij} \right|, \quad (8)$$

где e_i – ошибки (остатки регрессии); y_i – значения интенсивностей, замеренные на элементах улично-дорожной сети (на перегонах или поворотах); x_j – подлежащие оцениванию значения корреспонденций между районами; a_{ij} – элементы матрицы инцидентий, показывающей, проходит ли данная корреспонденция через рассматриваемый элемент сети.

При реализации данного метода на параметры модели накладываются смешанные двусторонние ограничения. Применение смешанных ограничений позволяет более гибко управлять изменением ошибок регрессии на каждой итерации и оцениваемых значений корреспонденций. В результате метод показал себя устойчивым к неточностям исходных данных, возникающих, при измерении интенсивностей движения на перекрестках (перегонах) в разные периоды времени [2].

Следует отметить, что все перечисленные методы предназначены для калибровки уже существующих матриц корреспонденций, поэтому в качестве исходных данных каждый метод также использует базовую матрицу корреспонденций.

В рассматриваемом примере была использована заданная матрица корреспонденций, распределение которой по сети дало значения интенсивностей движения на ее элементах (перегонах и поворотах). Перед перечисленными методами стояла обратная задача: на основе полученных замеров и базовой (какой-либо старой матрицы) матрицы определить искомую матрицу (заданную начале эксперимента). В качестве исходной матрицы была принята единичная матрица с нулевой диагональю (т.е. сильно отличающаяся от искомой матрицы).

Результаты тестирования методов восстановления матриц

Корреспонденция (из - в)	Факт. значения	TL-ISTU по повор-м s=0,3; d=0,03	TL-ISTU по повор-м s=0,8; d=0,17	TL-ISTU по перег-м s=0,3; d=0,03	TFuzzy-Flow по повор-м s=0,1	TFuzzy-Flow по повор-м s=0,3	TFuzzy-Flow по перег-м s=0,3	TFuzzy-Flow по перег-м s=0,2	Lohse	Программа AIMSUN
1-2	10	8	7	15	10,64	11,85	23,48	11,85	25,66	14,19
1-3	20	50	40	23	24,95	26,71	22,53	26,71	34,88	22,85
1-4	30	0	11	22	26,64	28,35	23,12	28,35	34,06	34,96
1-5	40	42	43	32	35,84	36,95	38,66	36,95	38,13	16,88
1-6	30	30	29	39	33,71	34,94	36,12	34,94	35,99	22,14
1-7	40	42	43	40	42,04	42,64	39,46	42,64	39,6	65,45
2-1	20	22	23	0	20,82	22,31	32,76	22,31	33,01	16,88
2-3	30	5	15	37	34,42	35,99	34,13	35,99	45,58	30,48
2-4	40	64	52	55	36,75	38,21	35,02	38,21	44,51	45,77
2-5	50	50	54	62	57,3	56,75	58,56	56,75	49,84	82,24
2-6	60	60	56	58	53,89	53,66	54,7	53,66	47,04	67,77
2-7	70	68	67	59	67,21	65,48	59,77	65,48	51,76	48,93
3-1	10	22	13	5	14,98	16,39	23,52	16,39	30,96	15,83
3-2	20	6	14	6	16,56	17,97	25,54	17,97	31,45	18,58
3-4	30	32	33	36	30,71	32	39,33	32	41,74	29,42
3-5	40	52	41	47	42,15	43,04	37,53	43,04	46,74	37,23
3-6	50	38	48	64	50,14	50,44	35,05	50,44	44,11	47,33
3-7	60	62	63	51	58,53	58,89	63,24	58,89	48,54	61,51
4-1	30	12	25	43	33,77	34,91	35,09	34,91	40,29	31,61
4-2	40	58	48	25	37,34	38,26	38,09	38,26	40,94	36,5
4-3	50	52	50	64	50	50,05	57,18	50,05	55,64	42,88
4-5	60	48	57	68	58,07	57,67	55,98	57,67	60,84	51,41
4-6	70	80	70	50	69,08	67,57	52,29	67,57	57,41	64,75
4-7	80	78	77	80	80,64	78,9	94,33	78,9	63,18	89,29
5-1	90	85	83	78	70,35	69,17	57,97	69,17	49,48	77,46
5-2	80	84	84	80	77,77	75,81	62,93	75,81	50,27	65,18
5-3	70	65	64	50	74,13	72,64	94,46	72,64	68,33	68,97
5-4	60	64	63	52	74,13	72,64	96,92	72,64	66,72	62,21
5-6	50	52	53	50	50	50,05	31,29	50,05	70,5	49,74
5-7	40	40	40	80	40,73	42,03	56,46	42,03	77,58	67,09
6-1	50	56	55	61	61,39	61,1	65,35	61,1	54,76	48,58
6-2	60	56	58	70	67,87	66,96	70,95	66,96	55,64	83,56
6-3	70	74	75	80	64,69	64,16	106,5	64,16	75,63	89,24
6-4	80	75	74	79	64,69	64,16	109,28	64,16	73,85	81,13
6-5	90	90	88	80	87,54	83,34	37,77	83,34	82,69	72,81
6-7	100	98	97	80	97,54	93,28	63,65	93,28	85,87	83,83
7-1	11	16	15	25	11,66	13,06	6,22	13,06	39,05	20,88
7-2	10	6	9	25	10,69	12,12	6,76	12,12	39,67	17,86
7-3	90	84	83	76	80,76	75,78	6,48	75,78	53,92	76,79
7-4	80	85	84	76	86,24	80,46	6,65	80,46	52,66	61,29
7-5	70	68	64	60	66,25	64,86	134,32	64,86	58,96	72,16
7-6	60	60	63	58	62,3	61,32	125,47	61,32	55,64	59,14

Сравнение полученных результатов по статистическим критериям

<i>TL-ISTU</i> по повор-м $s=0,3$; $d=0,03$	<i>TL-ISTU</i> по повор-м $s=0,8$; $d=0,17$	<i>TL-ISTU</i> по перег-м $s=0,3$; $d=0,03$	TFuzzy- Flow по повор-м $s=0,1$	TFuzzy- Flow по повор-м $s=0,3$	TFuzzy- Flow по перег-м $s=0,3$	TFuzzy- Flow по перег-м $s=0,2$	Lohse	Про- грамма AIMSUN
критерий t – Стьюдента (критическое значение $t_{кр} = 2,021$)								
0,028	0,24	0,24	0,16	0,43	0,1	0,43	0,1	0,15
критерий $CV(RMSE)$								
0,21	0,13	0,25	0,12	0,13	0,55	0,24	0,32	0,24

Примечание: s – допустимое отклонение в большую и меньшую стороны (ограничение, накладываемое на значения корреспонденций); d – коэффициент уменьшения ошибок на очередной итерации

Такой подход позволяет легко сравнить качество оценок, полученных каждым из методов. Результаты эксперимента представлены в табл. 1 и 2.

Для оценки качества полученных матриц был использован метод парного сравнения с использованием критерия t -критерия Стьюдента. Также была использована статистика $CV(RMSE)$, показывающая, насколько велико расхождение сравниваемых матриц корреспонденций:

$$CV(RMSE) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}{n}} / \bar{x}, \quad (9)$$

где $x_{1,i}$ и $x_{2,i}$ – значения корреспонденций в первой и второй матрицах; n – общее количество корреспонденций; \bar{x} – среднее значение корреспонденций для сравниваемой матрицы.

Результаты тестирования показали, что в зависимости от требуемой точности расчетов все методы могут быть использованы для оценки матриц корреспонденций по замерам на сети. Наибольшую точность дают метод, разработанный Транспортной Лабораторией ИрГТУ и TFuzzyFlow метод (программа VISUM). Это объясняется тем, что методы позволяют использовать результаты замеров не только на перегонах, но и на поворотах, а также они позволяют задавать определенные ограничения на параметры оптимизационных моделей.

Следует отметить, что предметом дальнейших исследований должна стать устойчивость таких методов в условиях возникновения ошибок (измерение на

перекрестках в разные периоды времени) для сетей разных размеров. В результате предполагаем, что будут получены рекомендации по практическому использованию методов при подготовке данных для проектов ОДД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лагереv Р.Ю. Оценка матриц корреспонденций транспортных потоков по данным интенсивности движения. Дис...канд. техн. Наук. – Волгоград, 2007. – 188 с.
2. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов. – Новосибирск: Наука, 2004. – 267 с.
3. Abrahamsson T. Estimation of Origin-Destination Matrices Using Traffic Counts – A Literature Survey // International Institute for Applied Systems Analysis, Interim Report IR-98-021/May, 1998. – 27 p.
4. AIMSUN Planner Manual // TSS-Transport Simulation System, Version 1.1. – 2006.
5. NCHRP Report 548: A Guidebook for Including Access Management in Transportation Planning, Transportation Research Board. – 2005.
6. Schnabel, W., Lohse D. Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung // Verlag fur Bauwesen, Berlin, Band 2. – 1997.
7. VISUM 10.0 User Manual // PTV Planung Transport Verkehr AG. – 2007.