

УДК 656.014

Е.С. Чернышева

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

В процессе моделирования транспортных систем допускается ряд предположений и упрощений, которые влияют на результат моделирования. На данный момент не существует единых требований к формированию набора транспортных районов и их конфигурация определяется исследователем по собственному усмотрению. В данной работе предлагается автоматизированная процедура формирования транспортных районов, которая позволяет выделить объективные критерии дезагрегирования объекта исследования и минимизировать влияние субъективного фактора на модель.

Ключевые слова: моделирование, микрорайонирование, транспортный район, алгоритм, геоинформационные технологии.

Актуальность темы исследования

На данном этапе развития транспортной науки математическое моделирование является наиболее эффективным методом изучения и прогнозирования работы транспортных систем. За последние пятьдесят лет транспортное моделирование получило широкое распространение, а детализация и сложность транспортных моделей достигли очень высокого уровня. Однако при этом качество входной информации и предположения исследователя об упрощении структуры объекта могут существенно повлиять на прогнозные способности окончательной модели. Одним из таких важных элементов является процесс формирования наименьшей географической единицы объекта моделирования, а именно микрорайона транспортной модели.

Несмотря на то, что процесс формирования транспортного района (ТР) является важным этапом моделирования, который может повлиять на весь процесс моделирования, единые принципы их формирования при этом до сих пор отсутствуют. Наиболее полный перечень рекомендаций при формировании ТР в отечественной литературе представлен в [1], при этом автор отмечает, что некоторые принципы из списка являются противоречивыми и окончательное решение остается за исследователем. Это положение приводит к тому, что на самом начальном этапе принимаются решения, которые влияют на конечный результат моделирования, при этом решения основаны скорее на опыте и интуиции исследователя, чем на объективных критериях. Для формирования объективных критериев и унификации процесса моделирования ТР

необходимо оценить современное состояние вопроса в отечественной и зарубежной литературе.

Существующие методы формирования транспортных районов

Важным этапом формализации процесса является точное определение явления и нахождение аналогий между отечественной и зарубежной литературой.

Ройко определяет транспортный район – как «саморегулируемую территорию, которая образовывается вокруг транспортной сети, жители которой совершают внутрирайонные перемещения пешком, не пересекая границ района, а межрайонные – совершают по городской сети между центрами транспортных районов» [2].

Согласно [3] ТР – это «элементарная структурная единица городской территории, формализованная набором атрибутов, определяющих ее как генератор и потребитель транспортных потоков».

Рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе VISUM определяют ТР как начальный и конечный пункт транспортного движения [4]. В транспортной модели каждый ТР сведен к центру тяжести, который через примыкания связан с улично-дорожной сетью. Границы ТР показывают пространственное положение ТР, однако влияние на распределение транспорта оказывает только положение его центра.

В западной литературе используется термин Зона транспортного анализа (ЗТА), также встречается термин зона анализа дорожного движения. ЗТА – это «географические зоны, разделяющие регион планирования в относительно

подобных областях землепользования и деятельности. Зоны представляют пункты отправления и прибытия поездов (корреспонденций) в пределах региона, а также служат в качестве основной единицы анализа в модели прогнозирования поездов» [5].

Для удобства анализа литературных источников термин транспортный район будет использоваться для обозначения ЗТА и ТР, а центр тяготения для обозначения терминов центр тяжести и центроид.

В отечественной и зарубежной литературе выделяют различные требования при определении транспортных районов:

1. Однородность формирования/тяготения поездов [6-11];
2. Смежность и выгнутость зоны [8-10];
3. Компактность формы района [1, 6-11];
4. Исключительность, замкнутость (избегание попадания района внутрь другого района или островков) [8-10];
5. Баланс касательно зарождения поездов (небольшие среднеквадратические отклонения между районами) [8-10];
6. Согласование границ транспортных районов с административными, политическими или статистическими границами [6-11];
7. Учет физических барьеров [1, 8-10];
8. Учет предпочтений лиц, принимающих решения относительно количества транспортных районов [8-9, 11];
9. Избегание проведения границы района по основным дорогам [1, 11]
10. Выбор размера района так, чтобы ошибка агрегирования в результате предположения, что все поездки концентрируются в центре тяготения района, не велика (географическая точность) [1, 11]
11. Минимизация внутрирайонных поездов [6, 12];
12. Максимизация статистической точности ячеек матрицы корреспонденций [13-14].

Существующие методы микрорайонирования можно разделить на методы агрегирования и методы дезагрегирования. К методам агрегирования, то есть объединения территории по каким-то общим характеристикам относятся иерархический метод формирования демографических зон, который активно применяется департаментами планирования США и Великобритании, основанный на автоматизированной процедуре зонирования, впервые предложенной Опеншаурером еще в 1977 году и впоследствии усовершенствованной для обработки больших массивов данных [13-14]. Агрегирование ТР с помощью кластерного анализа [15] основывается на том, что формируется n -ный набор кластеров. Каждый кластер представляет

собой группу зон с аналогичными демографическими характеристиками. Функция начального предположения заключается в определении зон, которые являются наиболее непохожими, и формирует ТР на основе кластеров. Формируются ТР с помощью статистических данных, доступных для территории, например в работе [16] используются данные о плотности отправок-прибытий и граница района определяется в местах наименьшей плотности.

К методам дезагрегирования территории можно отнести формирование ТР на основе полигонов Тиссена. Пример использования метода для моделирования системы пассажирского общественного транспорта представлен в работе [17]. И метод анализ барьеров, в таком случае граница района проводится по границе барьера. Более детальное описание использование этого метода представлено в следующих разделах данной статьи.

Постановка задачи

Характеристика, размер, форма и принцип определения ТР зависит от решаемой задачи, например, при моделировании транспортной системы страны или региона наименьшей единицей анализа может быть город или даже область, в то время, как при моделировании пешеходного движения ТР может быть ограничен кварталом. При этом вне зависимости от объекта исследования процесс формирования ТР существенно зависит от опыта и предположений исследователя. Цель этой работы предложить автоматизированный алгоритм формирования набора транспортных районов, который минимизирует предвзятость исследователя и позволяет формировать набор ТР по одинаковому набору объективных критериев для разных объектов исследования.

Алгоритм автоматизированного формирования транспортных районов при моделировании транспортных систем

Подход к формированию ТР существенно зависит от задач моделирования, а также от качества доступной информации об объекте исследования. Представленный алгоритм был разработан при моделировании системы велосипедного транспорта, к которой предъявляется требование высокой детализации демографических данных, которые не доступны на данный момент в Украине, поэтому использовался метод дезагрегирования территории.

Одной из проблем, которые возникают при формировании ТР кроется в конфликте границ и вместимости ТР. С одной стороны, чем больше

границы ТР, тем выше погрешность пространственного распределения, связанная с предположением, что все поездки зарождаются в едином центре тяжести ТР. Это приводит к тому, что внутрирайонные поездки не могут быть учтены, так как они зарождаются и поглощаются в одной и той же точке, при этом возникает большая погрешность в распределении по сети для вариантов пути, которые расположены близко к реальным пунктам отправления и прибытия, так как модель более вероятно загружает дороги с более высокой иерархией. С другой стороны, большое количество маленьких по вместимости ТР приводит к потере статистической точности. В связи с тем, что матрицы корреспонденций часто формируются на основе выборочного исследования, увеличение количества маленьких ТР приводит к увеличению количества ячеек матрицы корреспонденций с нулевыми значениями и уменьшению ширины доверительного интервала оценки потока. Автоматизированная процедура формирования ТР позволяет исследователю оптимизировать количество и размер транспортных районов, используя единые критерии формирования границ, но задавая разные границы интервалов площади и численности населения без увеличения трудоемкости моделирования.

Предложенный алгоритм предполагает формирование ТР в два этапа: на первом этапе происходит дезагрегирование объекта исследования на основе пространственных и демографических особенностей территории, а на втором происходит корректировка границ ТР на основе условий, заданных исследователем, в зависимости от целей моделирования и результатов выборочного обследования.

Так как ТР это наименьшая географическая единица транспортной модели, для которой предполагается, что все поездки зарождаются в условном центре ТР, то его границы должны отображать однородность и доступность. На основе анализа литературных источников для дезагригирования территории были выбраны два основных критерия, которые формируют поведение пассажиров: физические барьеры и тип землеиспользования. В качестве физических барьеров использовались реки и другие водоемы, железнодорожные пути и магистрали общегородского значения. Информация о землеиспользовании принималась согласно генеральному плану города Харькова. Процедура микрорайонирования реализована с помощью программного пакета ArcGIS 10.1, автоматизированного с помощью языка визуального программирования ModelBuilder. Упрощенная схема процесса дезагрегирования представлена на рис. 1.

На входе представлены пространственные слои, которые используются для анализа.

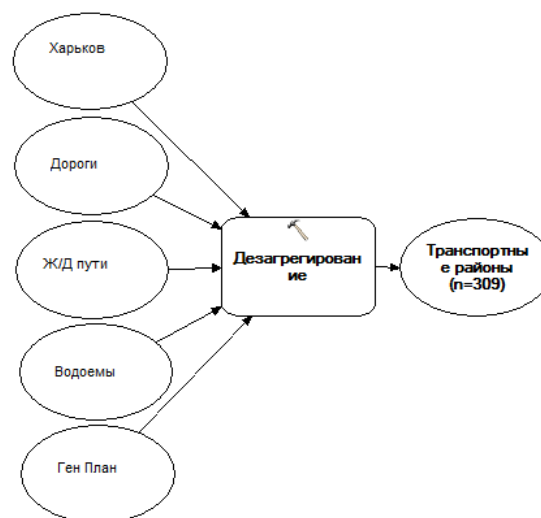


Рис. 1. Упрощенная схема дезагрегирования объекта исследования

Так как в результате автоматизированного дезагрегирования могут образоваться микрорайоны, которые не представляют ценности для процесса моделирования, необходимо провести ряд операций по удалению осколочных полигонов, чересчур маленьких или чересчур больших полигонов, например, с помощью инструментов «выровнять по форме», «слияние» или «разбить полигон», доступных в пакете ArcGIS. Диапазон размера ТР определяется на основе обследований закономерностей. При решении данной задачи в результате предыдущих обследований было определено, что меньше 5% велосипедных поездок совершаются на расстоянии до 2 км, после чего наблюдается существенное увеличение доли поездок. Таким образом, условный диаметр ТР был принят равным двум или менее км, а площадь ТР не должна превышать 4 км². Графические результаты моделирования представлены на рис. 2. После выполнения всех условий в результате моделирования получилось 233 ТР для г. Харькова. В табл.1 представлены статистические характеристики ТР.



Рис. 2. Результаты микромоделирования

Таблица 1. Характеристика транспортных районов

Показатель	Значение
Количество	233
Минимальная площадь, км ²	0,238864
Максимальная площадь, км ²	3,985791
Суммарная площадь, км ²	332,309048
Средняя площадь, км ²	1,426219
Среднеквадратичное отклонение	0,943198

Выводы

Анализ литературных источников показал, что единого подхода к формированию ТР для моделирования транспортных сетей не существует, при этом критерии, используемые для формирования ТР противоречат друг другу. Размер, характеристики и принцип формирования ТР зависит от целей моделирования, вида моделируемого транспорта, уровня детализации прогноза и размера территории. При моделировании велосипедного транспорта необходимо уделить особое внимание определению размера ТР. Слишком большие ТР не учитывают внутрирайонные велосипедные поездки, а расположения условного центра тяготения приводит к увеличению погрешности распределения велосипедных поездок по сети. Увеличение количества ТР приводит к снижению надежности и устойчивости модели спроса. При этом процесс моделирования ТР часто проводится исследователем вручную, из-за чего решение о границах и размере ТР субъективны и не унифицированы для различных объектов. Представленный в работе автоматизированный алгоритм микрорайонирования транспортной системы, позволяет сформировать единые принципы определения границ ТР для различных

объектов и автоматизировать процесс с помощью современных геоинформационных технологий. Данная методика позволяет задавать минимальные и максимальные размеры ТР на основе исследования или предположений исследователя. Дальнейший интерес представляет решение полного цикла моделирования с распределением потоков по сети и определением зависимости точности моделирования от количества и размера транспортных районов.

Литература

1. Горбачев, П.Ф. Основы теории транспортных систем [Текст] : учеб. пособие / П.Ф. Горбачев, И.А. Дмитриев. – Харьков: Из-во ХНАДУ, 2002. – 202 с.
2. Ройко Ю.Я. Щодо визначення основних принципів транспортного районування / Ю.Я. Ройко // Транспортні проблеми крупнейших городов: материалы международной научно-практической конференции. — М.: ХНАГХ, 2012
3. Трофименко Ю.В., Якимов М.Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 464 с.
4. Якимов М.Р., Попов Ю.А. Транспортное планирование: практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISUM: монография / М.Р. Якимов, Ю.А. Попов. – М.: Логос, 2014. – 200 с.
5. Cambridge Systematics, Inc., and AECOM Consult. A Recommended Approach to Delineating Traffic Analysis Zones in Florida. – Florida Department of Transportation Systems Planning Office, 2007. – 69 с.
6. Baass K. G. Design of zonal systems for aggregate transportation planning models //Transportation Research Record. – 1980. – Т. 807. – С. 1-6.
7. Chang K., Khatib Z., Ou Y. Effects of zoning structure and network detail on traffic demand modeling //Environment and Planning B: Planning and design. – 2002. – Т. 29. – №. 1. – С. 37-52
8. Ding C. Impact analysis of spatial data aggregation on transportation forecasted demand: a GIS approach //Urban and Regional Information Systems Association. Conference (32nd: 1994: Milwaukee, Wis.). URISA proceedings: integrating information and technology. – 1994.
9. Ding C., Choi K., Kim T. J. GIS-based traffic analysis zone design //Proceedings of the 3rd International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Atlanta. – 1993.
10. O'Neill W. A. Developing optimal transportation analysis zones using GIS //Proceedings of the 1991 Geographic Information Systems (GIS) for Transportation Symposium. – 1991. – Vol. 61. – No. 12. – pp. 33-36
11. Ortúzar J., Willusen L. Modeling Transport. 3rd Edition New York: John Wiley and Sons Inc. – 2001.
12. Crevo C. C. Impacts of zonal reconfigurations on travel demand forecasts. //Transportation Research Record. – 1991. – №. 1305., pp. 72-80
13. Openshaw S. Optimal zoning systems for spatial interaction models //Environment and Planning A. – 1977. – Т. 9. – №. 2. – С. 169-184.

14. Openshaw S., Rao L. Algorithms for reengineering 1991 Census geography // *Environment and planning A*. – 1995. – Т. 27. – №. 3. – С. 425-446.
15. Bennion M. W., O'Neill W. A. Building transportation analysis zones using geographic information systems // *Transportation research record*. – 1994. – №. 1429. – С. 49-56.
16. Binetti M., Ciani E. Effects of traffic analysis zones design on transportation models // *Proceedings of the 9th Meeting of the Euro Working Group on Transportation, Bari, Italy*. – 2002. – с.813 – 823
17. Wang S. et al. Transit Traffic Analysis Zone Delineating Method Based on Thiessen Polygon // *Sustainability*. – 2014. – Т. 6. – №. 4. – С. 1821-1832.

References

1. Horbachov, P.F., & Dmitriev, I.A. (2002). *The Basics of Transport Systems Theory*. Kharkiv: KhNADU.
2. Roiko, Yu.Ya. (2012) *About definition of main principles of transport zoning. Transportation problems of largest cities. Materials of international scientific-practical conference*.
3. Trofimenko, Yu.V. & Yakimov, M.R. (2013) *Transport planning: development of efficient transportation systems of large cities: monography*. Moscow, Logos.
4. Yakimov, M.R. & Popov, Yu.A. (2014) *Transport planning: practical recommendations for developing city models in PTV Vision® VISUM*. Moscow, Logos.
5. Cambridge Systematics, Inc., and AECOM Consult. (2007) *A Recommended Approach to Delineating Traffic Analysis Zones in Florida*. Florida Department of Transportation Systems Planning Office.
6. Baass, K. G. (1980). *Design of zonal systems for aggregate transportation planning models*. *Transportation Research Record*, 807, 1-6.
7. Chang, K. T., Khatib, Z., & Ou, Y. (2002). *Effects of zoning structure and network detail on traffic demand modeling*. *Environment and Planning B: Planning and design*, 29(1), 37-52.
8. Ding, C. (1994). *Impact analysis of spatial data aggregation on transportation forecasted demand: a GIS approach*. In *Urban and Regional Information Systems*

- Association. Conference (32nd: 1994: Milwaukee, Wis.). URISA proceedings: integrating information and technology*.
9. Ding, C., Choi, K., & Kim, T. J. (1993). *GIS-based traffic analysis zone design*. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, Atlanta*.
10. O'Neill, W. A. (1991). *Developing optimal transportation analysis zones using GIS*. In *Proceedings of the 1991 Geographic Information Systems (GIS) for Transportation Symposium*.
11. Ortúzar, J., & Willusen, L. (2001). *Modeling Transport*. 3rd. Edition New York: John Wiley and Sons Inc.
12. Crevo, C. C. (1991). *Impacts of zonal reconfigurations on travel demand forecasts*, 1305, 72-80
13. Openshaw, S. (1977). *Optimal zoning systems for spatial interaction models*. *Environment and Planning A*, 9(2), 169-184.
14. Openshaw, S., & Rao, L. (1995). *Algorithms for reengineering 1991 Census geography*. *Environment and planning A*, 27(3), 425-446.
15. Bennion, M. W., & O'NEILL, W. A. (1994). *Building transportation analysis zones using geographic information systems*. *Transportation research record*, (1429), 49-56.
16. Binetti, M., & Ciani, E. (2002). *Effects of traffic analysis zones design on transportation models*. In *Proceedings of the 9th Meeting of the Euro Working Group on Transportation, Bari, Italy*.
17. Wang, S., Sun, L., Rong, J., & Yang, Z. (2014). *Transit Traffic Analysis Zone Delineating Method Based on Thiessen Polygon*. *Sustainability*, 6(4), 1821-1832.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Горбачев П.Ф. Харьковський національний автомобільно-дорожній університет.

Автор: ЧЕРНЬШЕВА Елена Сергеевна
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, аспирант.
E-mail – tokmylenka@gmail.com

АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗОВАНОГО МІКРОРАЙОНУВАННЯ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

О.С. Чернишова

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

У процесі моделювання транспортних систем допускається ряд припущень і спрощень, які впливають на результат моделювання. На даний момент не існує єдиних вимог до формування набору транспортних районів і відбувається дослідником вручну на власний розсуд. Дана робота пропонує автоматизовану процедуру формування транспортних районів, яка дозволяє виділити об'єктивні критерії дезагрегування об'єкта дослідження і мінімізувати упередженість дослідника.

Ключові слова: моделювання, мікрорайонування, транспортний район, алгоритм, геоінформаційні технології.

AUTOMATIC PROCESS OF GENERATING TRAFFIC ANALYSIS ZONES DURING MODELING TRANSPORT SYSTEM

O.S. Chernyshova

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Modelling transportation systems is an important tool of modern transportation planning. During the modelling process a number of simplifications are made by a researcher that in some cases may lead to errors in the forecasting abilities of the model. Modelling the smallest geographical unit of the model, traffic analysis zone, can be one of those errors. In this paper an algorithm for an automatic generalization of traffic analysis zones is presented. The algorithm is based on barriers and land use analysis and correct for the size of traffic zone. Current method allows to use uniform assumptions to model traffic analysis zones for different objects and to specify the minimum and maximum dimensions of the zone on the basis of research question or assumptions of the researcher. Further interest of the research is to solve the traffic assignment for the object and compare the forecasting abilities of the model depending on the number and size of the traffic zones.

Keywords: modelling, transportation analysis zones, algorithm, geographic informational systems, aggregation, disaggregation.