

## ТРАНСПОРТ ТА ЛОГІСТИКА

УДК 656.072

© Нагорный Е.В.<sup>1</sup>, Горбачов П.Ф.<sup>2</sup>, Киркин А.П.<sup>3</sup>

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ МАРШРУТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДОВ

*Приводятся основные задачи транспортного планирования работы пассажирского транспорта для украинских городов. Определены приоритетные пути совершенствования современных программных пакетов транспортного планирования с целью их применения при решении задачи маршрутизации общественного транспорта городов.*

**Ключевые слова:** планирование, транспортная система, пассажирский транспорт, городской транспорт, маршрут, программный пакет.

*Нагорний Є.В., Горбачов П.Ф., Кіркін О.П. Вдосконалення сучасних програмних пакетів планування роботи маршрутного пасажирського транспорту міст. Приводяться основні задачі транспортного планування роботи пасажирського транспорту для українських міст. Визначені пріоритетні шляхи вдосконалення сучасних програмних пакетів транспортного планування з метою їх застосування при розв'язанні задачі маршрутизації загального транспорту міст.*

**Ключові слова:** планування, транспортна система, пасажирський транспорт, міський транспорт, маршрут, програмний пакет.

*E.V. Nagorny, P.F. Gorbachov, O.P. Kirkin. Improvement of modern software packages of scheduling of route passenger transport of the cities. The main tasks of transport planning of passenger transport operation for Ukrainian cities were presented. Priority ways of modern packaged programs improvement of transport planning for the purpose of their application at route planning task settlement city public transport were defined.*

**Keywords:** planning, transport system, passenger transport, city transport, route, software package.

**Постановка проблемы.** Основной задачей организации работы систем маршрутного пассажирского транспорта в украинских городах считается составление маршрутной сети (МС) с определением трасс, провозных возможностей маршрутов, вида и типа подвижного состава на них. Эта задача носит название маршрутизации, она осуществляется по решению заказчика регулярных перевозок, ее результаты, согласно с действующими нормативами [1], отображаются в реестре маршрутов.

Другие задачи, такие как определение типа транспортных средств и вида сообщения, формирования или изменение графика движения и детализация пути следования маршрута является задачами регулирования МС и осуществляется путем внесения изменений в договор об организации перевозок, или при условии расторжения договора об организации перевозок, или аннулировании разрешения по согласованию сторон, путем исключения маршрута и (или) графика движения из соответствующей сети маршрутов и включения в нее нового маршрута [1].

Решение задачи маршрутизации с высокой эффективностью невозможно без использования современных методов моделирования процесса перевозки пассажиров маршрутным транспортом, поскольку уже на самом простом уровне малых городов эта задача имеет такое количе-

<sup>1</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет», г. Харьков

<sup>2</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет», г. Харьков

<sup>3</sup> канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

ство вариантов решения, которое не может быть охвачено человеком - экспертом. Кроме этого необходимо понимать, что уровень квалификации рабочих исполнительных органов власти может существенно колебаться, а найти среди них специалиста, который может считаться экспертом по маршрутизации, достаточно тяжело даже в крупных городах. Потому современной может считаться лишь та методология организации работы систем маршрутного пассажирского транспорта (МПТ) в городах, которая основывается на математическом моделировании процесса перевозок пассажиров маршрутным транспортом.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В методологических подходах к решению задачи маршрутизации можно выделить два направления, которые обусловлены разными условиями функционирования городского МПТ. В странах с низким уровнем автомобилизации эта задача рассматривается как самостоятельная, приоритетная, с обязательным поиском оптимального состояния МС, решение которой призвано значительно улучшить качество работы системы МПТ. Такое направление развития методов организации работы систем маршрутного пассажирского транспорта в городах присуще, в основном, для стран бывшего СССР [2], так как сочетание низкого уровня автомобилизации с достаточно высоким уровнем управления городским транспортом было характерно как раз для социалистических стран. В странах с высоким уровнем автомобилизации аналогичный подход применялся на начальных шагах развития исследований в этом направлении [3], потому эти работы в большинстве случаев носят упрощенный характер.

Основным результатом этих работ стала разработка разнообразных эвристических алгоритмов поиска рационального варианта МС города, но лишь два алгоритма использовались для решения задачи маршрутизации на относительно постоянной основе [2, 4]. Основная часть алгоритмов использовалась не больше одного раза, что свидетельствует об исключительно теоретическом характере этих работ. Разница между работами в основном заключается в принятом критерии эффективности, заданной системы ограничений и предложенном авторами способе поиска рационального варианта МС.

Общими чертами методик этого направления является создание одномерных моделей транспортной системы со всеми основными ее элементами - транспортной и маршрутной сетями, потребностями населения в передвижениях и отношением пассажиров к характеристикам пути передвижения. Такой подход требует значительного упрощения реальных транспортных процессов и почти полностью исчерпал свои потенциальные возможности при решении рассматриваемого круга вопросов.

В экономически развитых странах дальнейшее развитие методов принятия решений в этой сфере привел к рассмотрению задач организации работы маршрутного транспорта, как фрагмента задач высшего уровня - планирования работы всей транспортной системы городов [5]. Усилия научных работников и инженеров направлены на уточнение описания составляющих транспортного процесса для получения совершенной модели всего объекта, которая позволит дать точный ответ на вопрос „Что будет, если ...”. При этом не ставится задача поиска оптимального, в заданном смысле, или хотя бы рационального состояния всей системы МПТ благодаря тому, что все вопросы транспортного планирования в экономически развитых странах решаются на стабильной базе существующего варианта транспортной системы (ТС), которому не требуются революционные изменения.

Требования к компьютерной модели по обязательному поиску нетрадиционных вариантов МС были актуальными в 80-тые годы прошлого столетия [3], но не получили дальнейшего развития. Современная методика транспортного планирования городов и регионов с помощью разных программных пакетов возлагает принятие конечных решений на группы специалистов, а сфера использования компьютерных методик заканчивается количественным прогнозом развития систем по разным сценариям.

Обзор современных программных продуктов по транспортному планированию охватывает пакеты TRIPS, TRANSCAD, RapidisTrafficAnalyst, EMME/2(3), TRANZI, McTrans, ArcGIS/Traffic, Enif, VISSIM и VISUM. Все эти пакеты разработаны с коммерческими целями, потому информацию об их возможностях можно достаточно легко получить из INTERNET. Необходимо отметить, что эти пакеты предназначены для решения широкого круга транспортных задач, основной из которых считается организация дорожного движения. Разнообразные расширения приводят к использованию пакетов при планировании грузовых автоперевозок,

моделирования авиационных или других перевозок. В транспортном планировании городов наибольшее распространение получили продукты канадской компании INRO Consultants Inc. - EMME/2 и германской компании PTV VISION - VISUM и VISSIM.

Задачи регулирования МС можно условно разделить на два типа: оперативные и оптимизационные. Второй случай рассматривается в вышеназванных продуктах, первый же связанный с процессами автоматической и автоматизированной адаптивизации, в городских условиях неопределённости внешней среды и стохастичности в параметрах транспортного потока малоизучен. Основными программными продуктами здесь выступают коммерческие продукты, разрабатываемые для слежения за транспортными средствами с удаленным регулированием таких параметров как скорость и направление, и корректировкой временных характеристик: интервалы движения на маршруте, длительность остановок и отдыха.

Представителями такого рода продуктов являются программы RailAtlas, система СКАУТ, BN-Global Cargo и т.п. Данные программные продукты являются только инструментом регулирования без автоматизации процесса принятия решений оператором (регулирующим) перевозки. Для решения данной задачи автоматизации большое применение получили методы системного анализа, теории автоматического управления, массового обслуживания и нечеткого моделирования [5-7].

При этом, существующие методы и модели оперативного регулирования МС не соответствуют существующим запросам рынка пассажирских перевозок в условиях наличия множества активных независимых систем, неопределённости внешней среды, удаленности управляемых объектов и стохастичности в параметрах осуществляемых транспортных процессов. Данные задачи решаются с использованием методов виртуализации [7], однако требуется их корректировка под городские условия функционирования и особенностей МС.

**Цель статьи** – дополнить существующие программные пакеты планирования работы маршрутного пассажирского транспорта, для повышения эффективности их использования при организации и планировании пассажирских маршрутных перевозок в городских условиях функционирования.

**Изложение основного материала.** Отличия в использовании программных продуктов по транспортному планированию обусловлены существенной разницей в уровне обслуживания пассажиров маршрутным транспортом между экономически развитыми странами и странами бывшего СССР, где лишь около 20% жителей городов используют персональный транспорт для осуществления передвижений. Кроме этого существующие в украинских городах МС являются результатом масштабной, но краткосрочной и не совсем обоснованной перестройки, и нуждаются в серьезной ревизии. Эти факторы придают задаче маршрутизации значительно больше актуальности и требуют модернизации программного обеспечения.

Для достижения точности моделирования современные программные пакеты используют многомерные модели каждого элемента транспортной системы, предлагают широкий выбор моделей там, где это возможно, но не дают ответа на вопрос о том какие модели необходимо использовать в каждом конкретном случае. Основным критерием выбора той или другой модели служит соответствие результатов расчетов реальным характеристикам объекта, что не дает гарантий верного прогноза при рассмотрении сценариев его развития. Кроме этого, для таких методик характерно отсутствие единых критериев оценки качества полученных решений. Это сделано благодаря попытке авторов создать универсальный инструмент принятия решений в транспортной сфере, но при рассмотрении вопросов повышения эффективности работы систем МПТ такой подход не может считаться целесообразным, особенно при рассмотрении таких значительных объектов, как ТС больших городов.

Потому для получения высоких результатов при решении задачи маршрутизации необходимо использование новых программных пакетов транспортного планирования, дополненных современной методологией моделирования отдельных элементов МС ГПТ, которая позволяет учесть особенности функционирования пассажирского маршрутного транспорта в украинских городах и принимать взвешенные решения с помощью объективного критерия эффективности.

Возможности решения задачи маршрутизации ГПТ в значительной мере присутствуют в пакете комплексного транспортного планирования VISUM. Для него также характерна возможность импорта - экспорта данных в MicrosoftOffice и построения собственных модулей проектировщиком. Пакет EMME/2 значительно уступает пакету VISUM в смысле моделирова-

ния работы общественного транспорта, потому именно VISUM целесообразно использовать в качестве базового программного продукта при решении задачи маршрутизации.

В общей модели МПТ играют наиболее важную роль и одновременно имеют наиболее сложный характер, модели потребностей населения в передвижениях и модели поведения пассажиров при выборе вариантов пути передвижения. Именно они вносят основную часть неопределенности в транспортный расчет. Модель потребностей населения в передвижениях отвечает за создание адекватной матрицы (совокупности матриц) корреспонденций, модель поведения пассажиров отвечает за распределение корреспонденций по маршрутной сети при выборе вариантов пути передвижения.

Кафедрой транспортных технологий ХНАДУ разработаны современные методики моделирования потребностей населения в передвижениях для разных по величине городов и моделирования поведения пассажиров в МС.

Первая методика представляет собой совершенствование и развитие вероятностного подхода к моделированию матриц корреспонденций в крупных городах. Значения трудовых корреспонденций в крупных городах рассчитываются на основе зависимости:

$$h_{ij} = P_p \cdot P_c \cdot HO_i \quad (1)$$

- где  $h_{ij}$  – величина трудовой корреспонденции между районами  $i$  и  $j$ ;  
 $P_p$  – вероятность наличия подходящего рабочего места в  $j$  – ом районе;  
 $P_{oc}$  – вероятность того, что человек согласен работать в  $j$  – ом районе;  
 $HO_i$  – емкость  $i$ -го района по отпращению, чел.

Значения соответствующих вероятностей определяются с помощью выборочных обследований, а так как они являются случайными величинами, то решается задача поиска наиболее вероятного состояния матрицы, с учетом ограничений на количество прибытий.

Отличия этого подхода от иных разработок, то есть модальных или дискретных моделей спроса [8], модели EVA [9] и других, определяется его более узкой направленностью, только на трудовые корреспонденции. Но, в связи с этим, он должен обеспечивать и большую точность расчетов, которая проверялась сравнением расчетных и фактических значений пассажиропотоков по двум транспортным моделям в среде пакета VISUM немецкой компании PTV VISION и была признана высокой.

Вторая методика основывается на принципах моделирования дискретного выбора, но благодаря использованию обследования методом фиксации фактического выбора путей передвижения и особенностям процедуры выбора варианта реализации потребности в передвижении общественным транспортом значительно улучшает качество модели.

Метод фиксации фактического выбора пассажирами пути следования реализуется в течение недели и позволяет получить статистические значения вероятности выбора пассажиром того или иного пути следования. При этом для модели в наибольшей степени подходят те передвижения, которые на протяжении обследования реализовывались разными вариантами пути следования, так как они характеризуют отношение пассажира к вариантам пути без дополнительных допущений и гипотез.

На основании стандартного для моделей дискретного выбора принципа сознательности поведения пассажира и решения полученной на ее основе системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = \int_{a_1}^{b_1} \prod_{l=2}^z P[t_l + \Delta Y_l \geq t_1] \cdot f(t_1) dt_1 \\ \dots \\ P_{z-1} = \int_{a_{z-1}}^{b_{z-1}} P[t_1 \geq x] \cdot \prod_{l=2}^{z-1} P[t_l + \Delta Y_l \geq x] \cdot f(x) dx, x = t_{z-1} - Y_{z-1} \end{array} \right. \quad (2)$$

- где  $z$  – количество реальных вариантов пути следования между парой районов, ед.;  
 $a_i, b_i$  – нижняя и верхняя границы распределения времени ожидания 1-ой поездки, мин.;

$t_i$  – время ожидания первой поездки, мин.;

$\Delta Y_i$  – детерминированная составляющая привлекательности пути, мин.

Величины  $\Delta Y_i$ , являющиеся неизвестными в системе (2), определяют относительное размещение соответствующих распределений времени ожидания, которое обеспечивает решение системы. Очень важно, что на этом этапе обеспечивается точное решение системы, а статистическое выравнивание производится на следующем этапе расчетов. Также важно то, что методика позволяет получить коэффициенты функции привлекательности пути методом наименьших квадратов и отвечает на все вопросы, обусловленные относительным характером процесса. В результате моделирования, на основе обследования проведенного с помощью метода фиксации фактического выбора пассажирами пути следования в 2008-2009 годах, получена функция привлекательности пути передвижения следующего вида:

$$y = 43,25 - 1,029 \cdot t_n - 9,227 \cdot \gamma_n - 10,443 \cdot C_n - 11,430 \cdot P, \quad (3)$$

где  $t$  – время передвижения в транспорте, мин.;

$\gamma_n$  – коэффициент заполнения транспортного средства в момент посадки;

$C_n$  – стоимость поездки из дома на работу, грн.;

$P$  – количество пересадок на пути передвижения, ед.;

$C$  – общая стоимость передвижения, грн.

Описанные методики составляют основу предложений по внешней модернизации пакета VISUM для использования при решении задачи маршрутизации в украинских городах.

В работе [7] выполнено исследование оперативного регулирования транспортными процессами при помощи методов виртуализации, теории управления и использования нечетких множеств. При использовании вместе с ними существующих методик распознавания плотности транспортного потока [10] возможна координация работы пассажирского, грузового и легкового транспорта в городской системе перевозок. Что позволит разгружать части городской транспортной сети и избегать задержек в работе маршрутных систем.

При этом можем выделить четыре варианта распознавания транспортного потока: 1) звуковой; 2) в виде площади занимаемой транспортными средствами на единице длины дорожного полотна; 3) точного распознавания контуров транспортных средств и 4) идентификации типа и вида транспортных средств. Третий и четвертый варианты являются дорогостоящими как в построении, так и эксплуатации, самый дешевый первый вариант, однако на данный момент отсутствуют готовые решения на его основе. Второй вариант достаточен для принятия решений, не требователен в эксплуатации и развертывании.

Наиболее необходимыми и часто применяемыми характеристиками транспортного потока являются интенсивность транспортного потока, его состав по типам транспортных средств, плотность потока, скорость движения, задержки движения. Применительно к методам виртуализации [7], основой регулирования удаленными независимыми объектами является интенсивность транспортного потока  $\mu$ . Используя нечеткие множества, отразим эту величину на универсуме  $X$  в условиях неопределенности и неточности измерений:  $\mu = \{x, \xi_\mu(x)\}$ .

Тогда, используя экспертное построение термов интенсивности -  $\mu$ , плотности потока на МС -  $\rho$ , интервалов или очереди обслуживания -  $\lambda$  и лингвистических правил их использования мы получим устойчивое к возмущающим воздействиям решение поставленной задачи поиска интенсивности (или скорости движения) транспортного потока на МС (например, снижать в час пик). Используя для решения терм плотности транспортного потока ( $\rho = \{z, \xi_\rho(z)\}$ ) на универсуме  $Z$ , можно решать задачи перенаправления грузопотоков на части маршрутной сети.

В дальнейшем необходимо развитие оптического распознавания активных систем, с целью снижения неопределенности в системе перевозки и увязка ее основной цели функционирования с вопросами экологической безопасности.

### Выводы

1. Решение задачи маршрутизации с высокой эффективностью невозможно без использования современных методов моделирования, поскольку даже для малых городов эта задача имеет

- такое количество вариантов решения, которое не может быть охвачено экспертом.
2. Современные программные пакеты предлагают широкий выбор моделей, но в них отсутствуют единые критерии оценки качества полученных решений в каждом конкретном случае. Кроме того, основным критерием выбора той или другой модели служит соответствие результатов расчетов реальным характеристикам объекта, что не дает гарантий верного прогноза при рассмотрении сценариев его развития. Такой подход не может считаться целесообразным, особенно при рассмотрении ТС больших городов. Поэтому, для повышения эффекта от решения задачи маршрутизации необходимо учесть особенности функционирования пассажирского маршрутного транспорта в украинских городах и принимать решения с помощью объективного критерия эффективности модели – повышение точности при сравнении теоретических и фактических значений пассажиропотоков.
  3. Существующие в украинских городах маршрутные сети являются результатом краткосрочной и не обоснованной перестройки, и нуждаются в серьезной модернизации программного обеспечения.
  4. Предложены методики вероятностного подхода к моделированию матриц корреспонденций в крупных городах и моделирования дискретного выбора дополняющие существующий программный пакет VISUM для повышения эффективности его использования при решении задачи маршрутизации в украинских городах по принятой критериальной оценке.
  5. Существующие методы регулирования МС требуют адаптации к городским условиям функционирования, наиболее эффективными при этом являются методы виртуализации, учитывающие удаленность объектов управления, нечеткость в воздействии внешней среды и наличие в ней множества активных независимых систем.

**Список использованных источников:**

1. Про внесення змін до Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорту: Постанова КМУ від 26 вересня 2007 р. № 1184 // Офіційний вісник України. – 2007. – № 75. – С. 5-23.
2. Горбачев П.Ф. Совершенствование схем маршрутов автобусов в крупнейших городах: дис. ... канд. техн. наук / П.Ф. Горбачев. – Харьков, 1993. – 164 с.
3. Evolution of Heuristic Transit Network Optimization Algorithms. In Transportation Research Record 976, TRB / K.W. Axhausen [etc.] // National Research Council. – Washington, D.C., 1984. – P. 7-20.
4. Вейцман В.М. Разработка рациональных схем городских автобусных маршрутов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.М. Вейцман. – М., 1987. – 20 с.
5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
6. Михайлов В.С. Теория управления / В.С. Михайлов. – К.: Выща школа, 1988. – 312 с.
7. Киркин А.П. Виртуальные предприятия логистических систем: учебное пособие / А.П. Киркин. – Мариуполь.: ГВУЗ «ПГТУ», 2012. – 162 с.
8. Ortúzar, J. de D. Modeling Transport. Third Edition. / J. de D. Ortúzar, L.G. Willumsen. – John Wiley & Sons Ltd, 2006. – 499 p.
9. Лозе Д. Моделирование транспортного предложения и спроса на транспорт для пассажирского и служебного транспорта – обзор теории моделирования / Д. Лозе // Сборник докладов 7-й междунар. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». – СПб.: СПб гос. архит.-строит. ун-т, 2006. – С. 170-186.
10. Демиденков К.А. Разработка автоматизированной системы обнаружения и идентификации транспортных средств для измерения плотности транспортного потока / К.А. Демиденков, И.И. Мельников // Технические науки: теория и практика: материалы Междунар. заоч. науч. конф. – Чита, 2012. – С. 11-16.

**Bibliography:**

1. On Amending the rules of providing passenger road transport: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine od September 26, 2007 № 1184 // Officiyniy visnyk Ukrainy. – 2007. – № 75. – P. 5-23. (Ukr.)

2. Gorbachev P.F. Improvement schemes bus routes in major cities: dissertation of the candidate of technical sciences / P.F. Gorbachev. – Kharkov, 1993. – 164 p. (Rus.)
3. Evolution of Heuristic Transit Network Optimization Algorithms. In Transportation Research Record 976, TRB / K.W. Axhausen [etc.] // National Research Council. – Washington, D.C., 1984. – P. 7-20.
4. Veizmann V.M. Development of rational schemes of urban bus routes: abstract of dissertation of the candidate of technical sciences / V.M. Veizmann. – M., 1987. – 20 p. (Rus.)
5. Leonenkov A.V. Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH / A.V. Leonenkov. – St. Petersburg.: BHV-Peterburg, 2003. - 736 p. (Rus.)
6. Mikhailov V.S. Control theory / V.S. Mikhailov. – K.: Vyscha shkola, 1988. – 312 p. (Rus.)
7. Kirkin A.P. Virtual enterprise logistics systems: training manual / A.P. Kirkin. – Mariupol.: GVUZ «PGTU», 2012. – 162 p. (Rus.)
8. Ortúzar, J. de D. Modeling Transport. Third Edition. / J. de D. Ortúzar, L.G. Willumsen. – John Wiley & Sons Ltd, 2006. – 499 p.
9. Loze D. Modeling transport supply and demand for freight and passenger transport service – an overview of the theory of modeling / D. Loze // Proceedings of the 7th Intern. conf. «Organization and road safety in the big cities». – St. Petersburg: SPb gos. archit.-stroit un-t, 2006. – P. 170-186. (Rus.)
10. Demidenkov K.A. Development of an automated system to detect and identify vehicles to measure traffic density / K.A. Demidenkov, I.I. Melnikov // Engineering: theory and practice: Proceedings of the international. absentia. scientific. conf. – Chita, 2012. – P. 11-16. (Rus.)

Рецензент: В.К. Губенко  
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 25.04.2013