



Научный вестник автомобильного транспорта

The Bulletin of Road Transport Research

МАЙ
2013
MAY





Научный вестник автомобильного транспорта The Bulletin of Road Transport Research

Научный ежемесячный журнал

МАЙ 2013 МАУ

The Monthly Scientific Magazine

Издатель: Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта» (ОАО «НИИАТ»). Адрес редакции: 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, 24, ОАО «НИИАТ»

Publisher: Open Joint-Stock Company «Scientific and Research Institute of Motor Transport» (NIIAT®).
Address: Geroyev Panfilovtsev Str., 24, 125480, Moscow, Russia, NIIAT

Телефон / Phone: +7 (495) 496-55-23. Факс / Fax: +7 (495) 496-61-36. E-mail: vestnik@niiat.ru. Internet: www.niiat.ru

Рабочие языки: русский и английский.
Статьи прошли научное рецензирование и публикуются в авторской редакции.
Ответственность за опубликованные сведения несут авторы статей.
При цитировании ссылка на журнал и авторов статей обязательна.
Перепечатка статей допускается с письменного согласия редакции.

Working languages: Russian and English.
Articles have passed scientific reviewing and are published in author's edition.
Responsibility for the data published is born by authors of articles.
At citing it is necessary to do instructions on magazine and authors of articles.
The reprint of articles is possible in the presence of the written permission of edition.

В журнале публикуются рецензируемые статьи по различным проблемам автомобильного транспорта, преимущественно по следующим отраслям наук и направлениям исследований:
технические науки – транспорт; машиностроение (автомобилестроение);
экономические науки – транспорт; логистика;
юридические науки (транспортное право);
исторические науки – история науки и техники (транспорт)

The journal publishes peer-reviewed articles on different problems of road transport, mainly on the following fields of sciences and areas of research:
engineering – transport; mechanical engineering (automotive);
economic science – transport; logistics;
jurisprudence (law);
historical sciences – history of science and technology (transport)

За публикацию статей плата с авторов не взимается

For publishing articles with authors' fees are not charged

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор, председатель редакционной коллегии –
Научный руководитель ОАО «НИИАТ» Донченко В.В., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.

Редакционный совет:

Комаров В.В., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.;
Матанцева О.Ю., д-р экон. наук, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.;
Спирин И.В., д-р техн. наук, профессор;
Туринова Т.И., канд. техн. наук – ученый секретарь редакционной коллегии.

Члены редакционной коллегии:

Андрианов Ю.В., канд. техн. наук, ст. научн. сотр. (НИИАТ); Батищев И.И., канд. экон. наук, ст. научн. сотр. (НИИАТ); Беляев В.М., д-р техн. наук, профессор (МАДИ ГТУ); Будрина Е.В., д-р экон. наук, профессор (СПб ГИЭУ); Вайпан В.А., канд. юрид. наук, доцент (Юстицинформ); Гатауллин Т.М., д-р экон. наук, профессор (ГУУ); Герами В.Д., д-р техн. наук, профессор (ВШЭ); Гречуха В.Н., д-р юрид. наук, проф. (МГИУ); Енин Д.В., канд. техн. наук (НИИАТ); Ефимов В.Б., д-р техн. наук, профессор (Союз транспортников России); Златин П.А., д-р техн. наук, канд. экон. наук, профессор (МГИУ); Иванов П.В., канд. техн. наук (Мосгортранс); Кабашкин Игорь, д-р наук, профессор (ТТИ, Riga); Колик А.В., канд. техн. наук профессор (ВШЭ); Корчагин В.А., д-р техн. наук, профессор (Липецкий ГТУ); Кравченко П.А., д-р техн. наук, профессор (СПб ГАСУ); Кузнецов Е.С., д-р техн. наук, профессор (МАТИ ГТУ); Лещенко М.И., д-р техн. наук, профессор (МАИИ); Миротин Л.Б., д-р техн. наук, профессор (МАДИ ГТУ); Нарбут А.Н., д-р техн. наук, профессор (НИИАТ); Рубец А.Д., канд. экон. наук, ст. научн. сотр.; Рупперт Ласло (КТИ, Budapest); Сарбаев В.И., д-р техн. наук, профессор (МГИУ); Степанов А.А., д-р экон. наук, профессор (ГУУ); Степанов В.И., д-р экон. наук, профессор (РЭА им. Г.В. Плеханова); Титов И.В., канд. экон. наук (НИИАТ); Чеботаев А.А., д-р техн. наук, профессор (НЦКТП); Чочуа М.П., канд. экон. наук (ГУП «Мосавтотранс»); Шефтер Я.И., д-р техн. наук, профессор (НИИАТ)

EDITORIAL BOARD

The Editor-in-Chief, the Chairman of Editorial Board –
The scientific leader of NIIAT Donchenko V.V., Ph.D., Deputy-Professor.

Editorial Council:

Komarov V.V., Ph.D., Depute-Professor; Matantseva O. Ju., Dr.Sci., Deputy-Professor;
Spirin I.V., Dr.Sci., Professor; Turinova T.I., Ph.D.– the scientific secretary of editorial board

Members of the Editorial Board:

Andrianov J.V., Ph.D., Deputy-Professor (NIIAT); Batishchev I.I., Ph.D., Deputy-Professor (NIIAT);
Beljaev V. M., Dr.Sci., Professor (University MADI); Budrina E.V., Dr.Sci., Professor (St. Petersburg GEEU);
Vajpan V.A., Dr. of Jurisprudence, Deputy-Professor («Justitsinform»); Gataullin T.M., Dr.Sci., Professor
(GUU); Gerami V.D., Dr.Sci., Professor (University HSE); Grechuha V. N., Dr. of Jurisprudence, Professor (MGI
University); Enin D.V., Ph.D. (NIIAT); Yefimov V. B., Dr.Sci., Professor (Russian Transportation Union);
Zlatin P. A., Dr.Sci., Professor (MGI University); Ivanov P.V., Ph.D. («Mosgortrans»); Kabashkin Igor, Dr.Sci.,
Professor (TTI, Riga); Kolik A.V., Ph.D., Professor (University HSE); Korchagin V.A., Dr.Sci., Professor (Lipetsk
University); Kravchenko P.A., Dr.Sci., Professor (St. Petersburg GASU); Kuznetsov E.C., Dr.Sci., Professor
(University MATI); Leshchenko M.I., Dr.Sci., Professor (University MAII); Mirotin L.B., Dr.Sci., Professor
(University MADI); Narbut A.N., Dr.Sci., Professor (NIIAT); Rubets A.D., Ph.D., Deputy-Professor;
Ruppert Laslo (KTI, Budapest); Sarbaev V.I., Dr.Sci., Professor (MDI University); Stepanov A.A., Dr.Sci.,
Professor (GUU); Stepanov V.I., Dr.Sci., Professor (Russian Economic Academe of G.V. Plekhanov);
Titov I.V., Ph.D. (NIIAT); Chebotaev A.A., Dr.Sci., Professor (Centre Problem of Transport);
Chochua M.P., Ph.D. («Mosavtotrans»); Shefter J.I., Dr.Sci., Professor (NIIAT)

СОДЕРЖАНИЕ

Андрианов Ю.В.

Мониторинг безопасности транспортных средств в эксплуатации
в течение их жизненного цикла 5

Грабауров В.А., Карасевич С.Н., Кот Е.Н.

Развитие принципов и подход к проведению аудита дорожной безопасности
на автомобильных дорогах общего пользования 11

Комаров В.В., Туровский Ф.В., Акопян А.А., Емельянов С.В., Журавлёв Д.А.

Совершенствование методов нормирования расхода топлива городскими автобусами 19

Матанцева О.Ю.

Методические основы формирования стоимости перевозки пассажира как базы
для взаиморасчетов между перевозчиками и государственными
или муниципальными заказчиками перевозок 25

Мехоношин В.В., Енин Д.В.

Оптимизация маршрутной сети городского пассажирского транспорта общего
пользования с применением программного пакета PTV Vision® VISUM
на примере городского округа г. Воронеж 30

Спирин И.В.

Современные информационные технологии обследования пассажиропотоков
на городских и пригородных маршрутах. 41

Тер-Мкртчян Ю.Г.

Влияние движения тяжелого грузового автомобиля в транспортном потоке
на часовую выработку автомобилей и доходы перевозчика 48

**Оптимизация маршрутной сети городского пассажирского транспорта
общего пользования с применением программного пакета *PTV Vision®*
VISUM на примере городского округа г. Воронеж**

* * *

**Optimization of the Public Transport Network Using *PTV Vision®* *VISUM* Software,
the Case of Voronezh City**

Мехоношин В.В., канд. физ.-мат. наук, **Енин Д.В.**, канд. техн. наук

Мехоношин Владислав Владимирович, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник ОАО «НИИАТ».

Тел.: +(405) 496 5729; Email: vlmekh@mail.ru

Енин Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент, заведующий научно-исследовательским отделом ОАО «НИИАТ».

Тел.: +(495) 496 4038; Email: enin@niiat.ru

Россия, 125480, Москва, ул. Героев Панфиловцев, 24

Mekhonoshin Vladislav Vladimirovich, PhD, The Leading scientist of Open-Stock Company «NIIAT».

Tel.: +(405) 496 5729; Email: vlmekh@mail.ru

Enin Dmitry Vladimirovich, PhD, Head of the Research Department of Open Joint-Stock Company «NIIAT».

Tel.: +(405) 496 5729; Email: enin@niiat.ru.

Address: Geroyev Panfilovtsev Str., 24, 125480, Moscow, Russia

Аннотация

Рассмотрены методика восстановления матрицы пассажирских корреспонденций по результатам обследования пассажиропотоков и использование программного пакета транспортного планирования *PTV Vision®* *VISUM* для оптимизации маршрутной сети пассажирского транспорта общего пользования.

Ключевые слова: матрица пассажирских корреспонденций, программный пакет *PTV Vision®*, оптимизация маршрутной сети

Abstract

The paper presents an approach for the passenger correspondence matrix estimation on the basis of the survey data and the use of *PTV Vision®* *VISUM* software to optimize the public transport network.

Keywords: the passenger correspondence matrix, *PTV Vision®*, optimize the public transport network

Введение

Комфортный и быстрый пассажирский транспорт общего пользования является необходимым условием устойчивой работы транспортной системы современных городов. Системы транспорта крупных городов Российской Федерации обладают рядом общих закономерностей. Повсеместно сохраняются высокие темпы автомобилизации и роста доли поездок на личном автотранспорте вместо пассажирского транспорта общего пользования. Изменение структуры транспортного спроса приводит к дефициту пропускной способности дорог. Возможность существенного повышения пропускной способности улично-дорожной сети ограничена сложившейся застройкой городов и необходимостью сохранения приемлемых условий жизни.

Особенностью Российской Федерации (и других государств на территории бывшего Советского Союза) является наличие развитых систем пассажирского транспорта общего пользования. Для устранения наметившейся тенденции снижения доли поездок на пассажирском транспорте общего пользования необходимо обеспечить конкурентоспособные в сравнении с личным автомобилем уровень комфорта и скорость передвижения, а также повысить надежность сообщения, т.е. обеспечить высокую сходимость ожидаемой и реальной продолжительности поездки. Немаловажную роль в решении указанных задач играет усовершенствование маршрутной сети городского пассажирского транспорта.

Пассажирский транспорт общего пользования существенно изменился в соответствии с трансформировавшимися потребностями населения. Однако эти изменения в боль-

шинстве крупных городов России происходили стихийно. Возникло большое число перевозчиков (в основном мелких), организовавших маршруты независимо друг от друга. С одной стороны, рост конкуренции создает предпосылки для наиболее полного удовлетворения потребностей населения в передвижениях. С другой стороны, отсутствие системного подхода к реорганизации маршрутной сети пассажирского транспорта общего пользования привело к появлению большого числа аналогичных маршрутов (отличающихся друг от друга на протяжении отрезков, не превышающих 10 % протяженности маршрута), что приводит к недостаточности пропускной способности транспортной инфраструктуры (прежде всего – остановочных пунктов). В результате нарушается регулярность сообщения на пассажирском транспорте общего пользования, возникают заторы из-за маршрутных транспортных средств, ожидающих возможности подъехать к месту остановки для посадки-высадки пассажиров.

Для преодоления указанных недостатков и повышения качества транспортного обслуживания населения в каждом крупном городе Российской Федерации необходим анализ существующей маршрутной сети, сокращение числа маршрутов и переход на использование комфортабельного подвижного состава большей вместимости.

В советской транспортной науке был накоплен большой опыт разработки маршрутных сетей пассажирского транспорта общего пользования. В частности, методики [1 и 2] позволяют разрабатывать оптимальную маршрутную сеть с учетом исторически сложившихся маршрутов. Кардинальное изменение маршрутов целесообразно при наличии достоверной информации о транспортных потребностях населения. В современных условиях при возросших пассажиропотоках и большом числе маршрутов стоимость полноценного анкетного обследования выходит за рамки разумных затрат. Достоверная статистическая информация, как правило, недоступна. В то же время, маршрутная сеть крупного российского города представляет собой совокупность практически всех возможных маршрутов пассажирского транспорта общего пользования. Поэтому рациональная схема может быть получена из действующей путем объединения дублирующих маршрутов, запрета неэффективных маршрутов и добавления маршрутов для повышения связности сети при необходимости.

В данной работе описаны методика обследования пассажиропотоков с применением систем спутникового позиционирования, некоторые детали обработки результатов обследования и применение программного пакета *PTV Vision® VISUM* для построения рациональной маршрутной сети пассажирского транспорта общего пользования.

Обследование пассажирских потоков

Системы спутникового позиционирования позволяют автоматизировать обследование пассажиропотоков. На маршрутных транспортных средствах средней и большой вместимости целесообразно использование датчиков, фиксирующих число пассажиров, вошедших и вышедших на каждом остановочном пункте. Для работы системы необходима база данных, содержащая граф маршрутной сети. База данных должна содержать путь следования (последовательность узлов, проезжаемых маршрутом), а также координаты этих узлов и остановочных пунктов для каждого маршрута. Результатом работы системы является база данных с информацией о каждом рейсе каждого обследованного транспортного средства, включая информацию о времени проезда остановочных пунктов, числе пассажиров, вошедших и вышедших на этих остановочных пунктах, а также сопутствующие данные (о государственном регистрационном знаке транспортного средства, его марке и т.п.). На маршрутных транспортных средствах малой вместимости целесообразнее учитывать пассажиров с помощью *GPS/ГЛОНАСС* датчика и специальной программы, позволяющей фиксировать координаты и время входа и выхода пассажиров и служебную информацию о маршруте, марке транспортного средства и т.д. Географические координаты мест посадки-высадки пассажиров сопоставляются с остановочными пунктами соответствующего маршрута, в результате воспроизводится стандартная ведомость внутрисалонного обследования с минимальными затратами ручного труда. В случае неуверенного

приема сигнала со спутников, остановки, координаты которых не были определены, могут быть установлены на основе анализа времени, прошедшего после последней остановки с известными координатами и расстояния между остановочными пунктами.

В результате обработки результатов обследования решаются следующие задачи:

восстановление баланса вошедших и вышедших пассажиров на каждом рейсе каждого обследованного маршрутного транспортного средства;

определение времени проезда узлов графа сети каждым из обследованных маршрутных транспортных средств, а также числа пассажиров в салоне этих транспортных средств на каждом из ребер графа;

определение коэффициента приведения для результатов обследования;

анализ суточной неравномерности числа поездок на пассажирском транспорте общего пользования, определение утреннего и вечернего пиковых периодов;

построение и анализ картограммы пассажиропотоков;

восстановление матрицы корреспонденций для каждого из обследованных маршрутов и для каждого из периодов суток.

В результате погрешностей датчиков при использовании автоматической системы обследования пассажиропотоков или ошибок учетчиков при обследовании в салоне маршрутных транспортных средств, зафиксированное число пассажиров, вошедших в транспортное средство за рейс, иногда несколько отличается от числа вышедших из него за тот же рейс. Указанный дисбаланс устраняется с применением следующих процедур. Для каждого дня работы обследованного маршрутного транспортного средства определяются порядковые номера остановочных пунктов, после которых в салоне транспортного средства не должно быть пассажиров. На маятниковых маршрутах это конечные остановочные пункты. На петлевых маршрутах пассажиры освобождают салон транспортного средства на одном из конечных остановочных пунктов (на котором осуществляется отстой транспортного средства). На кольцевых маршрутах салон транспортного средства освобождается перед его отстоем на конечном остановочном пункте, при этом маршрут может быть пройден несколько раз. Баланс числа пассажиров, вошедших и вышедших из обследованного маршрутного транспортного средства, восстанавливается для каждого из промежутков времени между двумя последующими отстоями. В силу технологических особенностей учета пассажиров, при применении автоматической системы учета, основанной на применении датчиков, пассажирооборот на остановочных пунктах может оказаться завышенным, а при ручном подсчете вошедших и вышедших пассажиров более вероятно занижение пассажирооборота. Поэтому, при наличии дисбаланса между числом вошедших и вышедших пассажиров, целесообразно уменьшать большие значения при автоматическом учете пассажиров и увеличивать меньшие значения при ручном обследовании.

В обоих случаях погрешность наиболее вероятна на остановочных пунктах с наибольшим значением подсчитанного числа (за рейс), поэтому изменять в нужную сторону целесообразнее наибольшие значения величины, подлежащей корректировке. Для этого в рамках данной работы реализован алгоритм, в котором поправки к числу пассажиров, вошедших или вышедших на каждой из остановок пропорциональны величине дисбаланса и количеству пассажиров, вошедших или вышедших на этой остановке. Этим обеспечивается наименьшее относительное изменение полученных результатов обследования.

Результатами обследования являются данные по остановочным пунктам, на которых осуществлялись посадка и/или высадка пассажиров. Для построения и анализа картограммы пассажиропотоков необходимо определить пассажиропотоки на каждом из ребер графа маршрутной сети. Время прохождения узлов определяется с учетом средней скорости движения транспортного средства на перегонах, содержащих эти узлы, и расстояния между узлами.

Коэффициенты приведения для каждого из обследованных маршрутов определяются как отношение числа рейсов, выполненных в каждый из двухчасовых интервалов в течение дня, к числу рейсов обследованных транспортных средств, выполненных за соот-

ветствующий интервал времени. Продолжительность интервала выбрана таким образом, чтобы за каждый из интервалов был совершен хотя бы один рейс обследованного транспортного средства на каждом маршруте.

На рис. 1 представлена зависимость числа посадок пассажиров в маршрутные транспортные средства по 15-минутным интервалам в течение времени обследования в г. Воронеже. Из графика видно, что наибольший спрос на пассажирские перевозки наблюдается в утренний пиковый период с 07:45 до 08:45. Вечерний пиковый период наблюдается с 18:00 до 19:00. Поэтому для дальнейшего анализа время суток было поделено на такие периоды: 1) 05:45 – 07:45 утренний предпиковый период; 2) 07:45 – 08:45 утренний пиковый период; 3) 08:45 – 10:45 – утренний послепиковый период; 4) 10:45 – 16:00 межпиковый период; 5) 16:00 – 18:00 вечерний предпиковый период; 6) 18:00 – 19:00 вечерний пиковый период; 7) 19:00 – 22:00 – вечерний послепиковый период.

На рис. 2 приведена суточная картограмма пассажиропотоков на маршрутной сети г. Воронежа. Аналогичные картограммы могут быть построены для каждого из периодов суток. Как и следовало ожидать, наибольшая интенсивность пассажирских потоков наблюдается на участках, где складываются потоки наибольшего числа маршрутов. Такими являются Московский проспект между пл. Заставы и проспект Труда, ул. Кирова, Плехановская улица и Ленинский проспект.

Особое внимание в данной работе уделено восстановлению матриц корреспонденций. Известно, что эта задача недоопределена, то есть ее решение не единственно при числе остановочных пунктов более трех. Существующие формулы и рекуррентные соотношения, рассмотренные в [3], предполагают однократный проезд каждого остановочного пункта. При выводе указанных соотношений либо предполагается, что выход любого из пассажиров маршрутного транспортного средства на каждом остановочном пункте равновероятен, либо предполагается использовать дополнительные источники информации о матрицах корреспонденции.

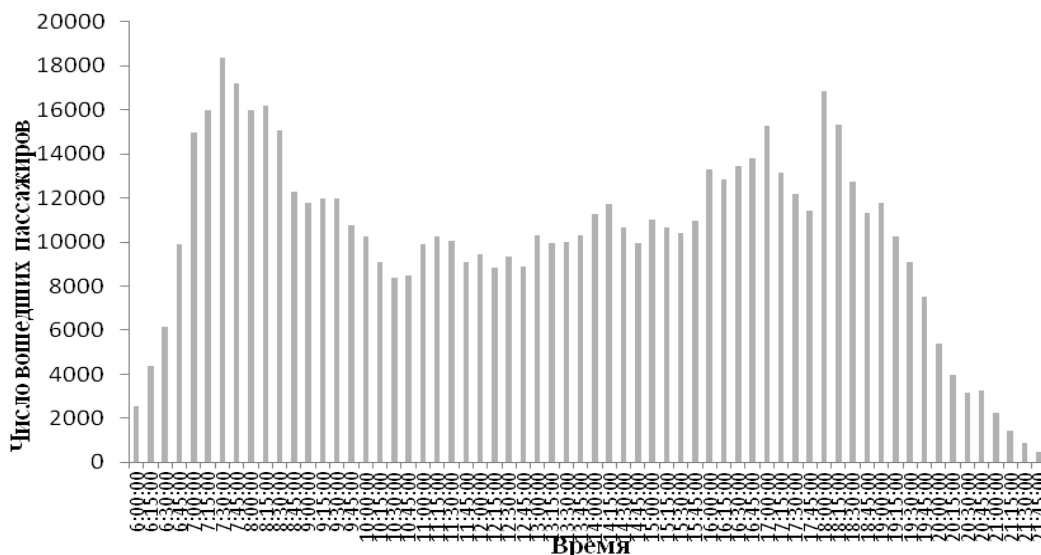


Рис. 1. Число посадок пассажиров в маршрутные транспортные средства по 15-минутным интервалам

Нами разработан алгоритм, позволяющий восстанавливать матрицу корреспонденций как для маятниковых, так для петлевых и кольцевых маршрутов. Алгоритм основан на использовании только результатов обследования пассажиропотоков, поэтому отдельно обрабатывается каждый рейс каждого транспортного средства, в результате чего удастся избежать потерь информации при агрегировании результатов обследования. Вместе с тем, значения межостановочных корреспонденций для одного рейса, как правило, составляют несколько единиц. Поэтому округление может привести к существенным погрешностям и

заниженным суммарным результатам. Для исключения таких погрешностей для каждого рейса целесообразно исключить округление результатов вычисления на этом этапе, то есть рассчитывать вероятность P_{ij} того, что пассажир, вошедший на остановке i , выйдет на остановке j . С этой целью для каждого остановочного пункта посадки i определяется максимально возможная дальность поездки на данном маршруте. На маятниковых маршрутах это путь до конечного остановочного пункта. На петлевых и кольцевых маршрутах – путь либо до повторного проезда участка маршрутной сети длиной больше максимальной допустимой длины повторного проезда (эта длина определяется трассировкой существующих маршрутов; для г. Воронежа – два повторно проезжаемых остановочных пункта подряд), либо до повторного проезда остановочного пункта посадки, либо до остановочного пункта, на котором осуществляется отстой транспортного средства, в зависимости от того, какое из этих событий произойдет раньше.



Рис. 2. Картограмма суточных пассажиропотоков на маршрутной сети городского округа г. Воронежа

Максимально возможная дальность поездки определяет максимально возможное время поездки $t_{i \max}$ для пассажиров, вошедших на остановочном пункте i . Для определения вероятности P_{ij} рассчитываются относительные времена проезда от остановочного пункта i до всех остановочных пунктов j возможного пути следования $t_{ij \text{ rel}} = t_{ij}/t_{i \max}$. Введение относительных времен поездки позволяет рассматривать набор кривых распределения вероятностей $p(t)$ для всех остановочных пунктов посадки на одном и том же интервале значений от 0 до 1. Для получения количественных данных набор распределений $p(t)$ аппроксимируется с помощью следующей двухпараметрической функции распределения:

$$p(t) = \frac{\left(\frac{t}{t_0}\right)^{s-1}}{At} e^{-\frac{t}{t_0}},$$

где s, t_0 – параметры, подлежащие определению.

Нормировочный коэффициент A определяется по формуле:

$$A = \int_0^1 \frac{\left(\frac{x}{t_0}\right)^s}{x} e^{-\frac{x}{t_0}} dx.$$

Тогда вероятность P_{ij} того, что пассажир, вошедший на остановочном пункте i , выйдет на остановочном пункте j

$$P_{ij} = \frac{1}{A} \int_{\frac{t_{i(j-1)\text{rel}} + t_{ij\text{rel}}}{2}}^{\frac{t_{ij\text{rel}} + t_{i(j+1)\text{rel}}}{2}} \frac{\left(\frac{t}{t_0}\right)^s}{t} e^{-\frac{t}{t_0}} dt.$$

Для $j = i + 1$ нижний предел интеграла в последней формуле равен 0, для $t_{ij\text{rel}} = 1$ верхний предел равен 1. Математическое ожидание числа пассажиров $O_j^{(e)}$, вышедших на остановочном пункте j , равно

$$O_j^{(e)} = \sum_{i=1}^{j-1} B_i P_{ij},$$

где B_i – число пассажиров, вошедших на i -м остановочном пункте.

Параметры распределения s и t_0 подбираются для каждого рейса каждого обследованного маршрутного транспортного средства таким образом, чтобы значение невязки δ было минимальным:

$$\delta = \sum_j (O_j - O_j^{(e)})^2,$$

где O_j – число пассажиров, вышедших на j -м остановочном пункте.

Определение параметров распределения позволяет получить начальное приближение для матрицы корреспонденций $C_{ij}^{(0)} = B_i P_{ij}$, представляющей собой оценку среднего числа пассажиров, совершающих поездку между остановочными пунктами i и j за один рейс.

Восстановление матрицы корреспонденций завершается стандартной процедурой итерационного пропорционального заполнения таблиц [4], алгоритм которой для рейса с N остановочными пунктами представлен на рис. 3.

В результате суммирования межостановочных корреспонденций по периодам суток получают соответствующие матрицы корреспонденции для семи рассматриваемых периодов времени. Коэффициент пересадочности на наземном пассажирском транспорте в большинстве крупных городов Российской Федерации не превышает 1,1...1,2, что являет-

ся вполне приемлемым значением и позволяет рассматривать сумму маршрутных межостановочных матриц корреспонденции как межостановочную матрицу корреспонденций для всего города. Отсутствие пересадок при осуществлении полученных таких корреспонденций означает сохранение коэффициента пересадочности на уровне не выше исходного.

Картограмма наиболее значимых суточных пассажирских межостановочных корреспонденций приведена на рисунке 4, на котором отражена характерная центростремительная структура поездок.

Обследование выявило основные недостатки маршрутной сети пассажирского транспорта общего пользования в г. Воронеже. Они оказались типичными для всех крупных городов Российской Федерации. Основным недостатком является чрезмерно большое число маршрутов. В городе действует 145 автобусных и 4 троллейбусных маршрутов. Маршрутный коэффициент равен 7,8. Как видно из таблицы 1, 37 % парка подвижного состава пассажирского транспорта общего пользования представлены автобусами малой вместимости. Эти автобусы составляют 14 % от суммарной вместимости парка пассажирского транспорта общего пользования.

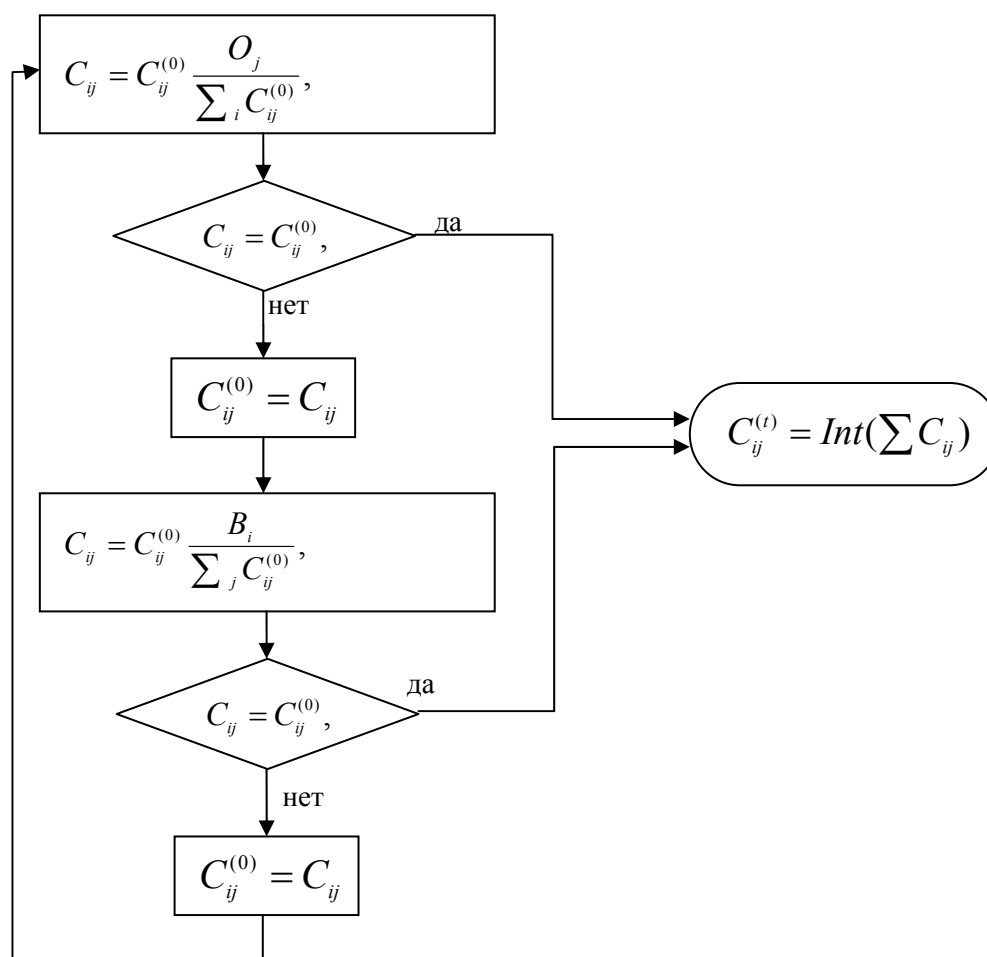


Рис. 3. Укрупненная структурная схема алгоритма пропорционального заполнения таблицы корреспонденций

Вследствие наличия в центральной части города большого числа дублирующих маршрутов наблюдается высокая интенсивность движения маршрутных транспортных средств (рис. 5). Максимальное значение интенсивности движения маршрутных транспортных средств (ТС) составляет 224 ТС/ч, что примерно вдвое превышает пропускную способность остановочных пунктов.

Другим негативным следствием большого числа маршрутных транспортных средств малой вместимости является снижение рентабельности маршрутов, обслуживаемых более емким подвижным составом. В ряде случаев наблюдается ситуация, когда пассажиропоток делится практически поровну между дублирующими маршрутами, обслуживаемыми подвижным составом большой и малой вместимости.

Таблица 1

Состав парка подвижного состава пассажирского транспорта общего пользования на действующей маршрутной сети

Класс вместимости транспортных средств	Число транспортных средств, ед.	Доля в суммарной вместимости парка, %
Малый	606	14
Средний	696	45
Большой	324	41



Рис. 4. Наиболее значимые (более 300 пасс./сутки) межостановочные пассажирские корреспонденции в городском округе г. Воронеж

Таким образом, с одной стороны, маршруты, обслуживаемые подвижным составом малой вместимости, не могут обеспечить все пассажирские перевозки, с другой стороны, они перегружают транспортную инфраструктуру (прежде всего, остановочные пункты), создают помехи для движения маршрутных транспортных средств большей вместимости и снижают рентабельность маршрутов, обслуживаемых транспортными средствами большей вместимости. Поэтому для устойчивой работы пассажирского транспорта в городах необходимо свести к минимуму дублирование маршрутов на протяженных участках их путей следования, и в максимальной степени ограничить применение автобусов малой вместимости только теми маршрутами, на которых применение более емкого подвижного состава затруднено или нецелесообразно.



Рис. 5. Интенсивность движения маршрутных транспортных средств в утренний пиковый период при действующей маршрутной сети пассажирского транспорта, ТС/ч

Программный пакет *PTV Vision® VISUM* содержит набор модулей для решения широкого спектра задач транспортного планирования. В данной работе используются только модули, связанные с пассажирским транспортом общего пользования.

Исходными данными о транспортном спросе являются матрицы корреспонденций между транспортными районами. В ходе обследования были получены межостановочные корреспонденции. Число остановочных пунктов маршрутных транспортных средств пассажирского транспорта общего пользования больше числа остановочных пунктов, разрешенных на маршруте. Кроме того, различать корреспонденции остановочных пунктов, находящихся на расстоянии менее 500 м один от другого, нецелесообразно. Поэтому, такие пары остановочных пунктов были объединены в транспортные районы. В общей сложности модель содержит 371 транспортный район. Транспортное предложение представлено (при моделировании действующей маршрутной сети) действующими маршрутами пассажирского транспорта общего пользования. Данные обследования позволяют составить профили времени движения маршрутов пассажирского транспорта общего пользования, а также время отправок поездок маршрутных транспортных средств по расписанию, необходимые для построения модели в *PTV Vision® VISUM*.

Построение модели в пакете транспортного планирования *PTV Vision® VISUM*

Программный пакет используется для оценки пассажиропотоков на маршрутах пассажирского транспорта. С этой целью составлена стандартная последовательность процедур, состоящая из построения списка возможных путей следования для реализации каждой корреспонденции между транспортными районами. Осуществляется распределение пассажиропотоков по маршрутам движения с использованием модели *Lohse*, в которой полезность альтернативы рассчитывается по формуле:

$$U = e^{-\left[\beta \left(\frac{R}{R_{\min} - 1}\right)\right]^2},$$

где: R – сопротивление, зависящее от времени поездки, числа пересадок, стоимости проезда, времени пешеходного подхода в начале и конце поездки, а также наполнения подвижного состава пассажирами; R_{\min} – минимальное значение сопротивления для текущей корреспонденции.

Так как перераспределение пассажиропотоков зависит от наполнения подвижного состава, процесс перераспределения осуществляется в несколько итераций.

В результате устранения дублирующих и не востребуемых маршрутов общее число маршрутов сократилось почти в полтора раза – со 149 до 100, при том, что суммарная протяженность маршрутной сети увеличилась примерно на 3 км и была повышена связность маршрутной сети за счет использования улиц Дорожная, Пирогова, 60-й Армии. Маршрутный коэффициент сократился с 7,8 до 4,8. Изменилась структура парка подвижного состава (табл. 2).

Таблица 2

Состав парка подвижного состава пассажирского транспорта общего пользования на перспективной маршрутной сети

Класс транспортного средства	Число транспортных средств, ед.	Доля в суммарной вместимости, %
Малый	182	5
Средний	707	51
Большой	346	44

Суммарная вместимость подвижного состава увеличилась на 0,5% и составила около 66 тыс. пассажиров.

В результате интенсивность движения маршрутных транспортных средств (рис. 6) не превышает пропускной способности остановочных пунктов.



Рис. 6. Интенсивность движения маршрутных транспортных средств в утренний пиковый период при перспективной маршрутной сети пассажирского транспорта, ТС/ч

Сокращение числа маршрутов не повлекло негативных последствий для пассажиров. По результатам перераспределения пассажирских потоков на перспективной маршрутной сети лишь 509 поездок (из примерно 650 тыс. поездок) сопровождаются дополнительными пересадками пассажиров. Таким образом, коэффициент пересадочности не

увеличился более чем на 0,001. Более того, связность маршрутной сети повышена, добавлены возможности беспересадочного проезда между четырьмя парами микрорайонов города, отсутствующие в действующей маршрутной сети. Поскольку пространственная структура маршрутной сети определяется структурой улично-дорожной сети, среднее время поездки, средняя длина пешеходного подхода, коэффициент непрямолинейности поездки и прочие средние характеристики практически не изменились.

Вместе с тем, увеличение доли подвижного состава средней вместимости обеспечивает большую регулярность предоставления транспортных услуг. Снижается вероятность отказа в обслуживании, обеспечивается более высокий уровень комфорта за счет более широких проходов и более высоких потолков в сравнении с автобусами малой вместимости. Сокращается трудоемкость перевозок, что весьма полезно, учитывая дефицит водительских кадров высокой квалификации.

Заключение

Предложенная методика восстановления матрицы пассажирских корреспонденций по результатам обследования пассажиропотоков для оптимизации маршрутной сети пассажирского транспорта общего пользования обеспечила получение исходных данных и возможность построения модели в программном пакете для транспортного планирования *PTV Vision® VISUM*. С использованием этой модели осуществлен анализ существующей маршрутной сети. Выявлены и реорганизованы дублирующие маршруты, добавлены маршруты, необходимые для повышения связности маршрутной сети и улучшения транспортного обслуживания территории города. Осуществлен выбор минимальной вместимости подвижного состава для каждого маршрута, установлены интервалы движения по периодам суток. Результатами преобразований является сокращение доли автобусов малой вместимости в парке пассажирского транспорта общего пользования с 37 % до 15 %, почти двукратное сокращение пиковой интенсивности движения маршрутных транспортных средств на наиболее загруженных участках сети, увеличение частоты движения маршрутных транспортных средств на менее загруженных участках, где наблюдается дефицит провозной способности.

Список литературы

1. Антошвили М.Е., Варелуполо Г.А., Хрущев М.В. Организация городских автобусных перевозок с применением математических методов и ЭВМ // М.: Транспорт, 1974. - 104 с.
2. Руководство по составлению рациональных схем автобусных маршрутов в городах // М.: НИИАТ, 1984.
3. Артынов А. П., Скалецкий В. В. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами // М.: Наука, 1981. – 282 с.
4. *Deming W. Edwards, Stephan Frederick F. On a Least Square Adjustment of a Sampled Frequency Table When the Expected Marginal Totals are Known // The Annals of Mathematical Statistics Vol. 11, No. 4, 1940, p. 427 – 444.*