

Наконец, в 1982 году вышло «Руководство по проведению транспортных обследований в городах» (БелНИИП градостроительства Госстроя БССР, ЦНИИП по градостроительству Госгражданстроя. – М.: Стройиздат, 1982. – 72 с. А.Е. Роговин, Ф.Г. Глик, З.Н. Козловская, И.Г. Хасдан, М.И. Каган, Д.П. Кривошеев, Ю.А. Ставничий, С.А. Ваксман).

Основной целью разработки «Руководства...» являлось придание единообразия (осуществление единого подхода) к транспортным обследованиям в городах. Однако, пока шла разработка Руководства в стране произошли существенные изменения, и она стояла на грани больших перемен. Более того, к середине 80-х годов почти прекратилась разработка комплексных транспортных схем, да и вообще проектов, связанных с решением транспортных вопросов на различных стадиях планирования и проектирования.

Сегодня, когда в стране произошли принципиальные системные преобразования, вновь возникла ситуация, когда нужно снова принять решение по стадийности транспортного планирования и проектирования городов и разработке нового нормативного документа по созданию баз данных, по транспортным системам городов, в том числе на основе проведения по единым методикам транспортных обследований.

Хотя пару лет назад была предпринята попытка объявления тендера на разработку нового Руководства по проведению транспортных обследований, результат этой работы не известен, а документа нет до сих пор. В связи с этим Оргкомитет наших конференций принял решение опубликовать серию статей и обзоров по различным видам транспортных обследований как материал для обсуждений.

УДК 656.022

ПОСТРОЕНИЕ МАТРИЦЫ ПАССАЖИРСКИХ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ПО ДАННЫМ О ВАЛИДАЦИЯХ БИЛЕТОВ И НАВИГАЦИОННЫМ ОТМЕТКАМ

А.С. Морозов, А.А. Черников

Исследование демонстрирует применение баз данных автоматизированных систем оплаты проезда (АСОП) и навигационных данных для расчета матриц межстаночных пассажирских корреспонденций на примере Москвы. Опыт данной разработки пока-

зывает возможность применения цепочек валидаций смарт-карт и навигационных отметок для построения матрицы корреспонденций. Полученная матрица была сопоставлена с традиционной системой обследования пассажиропотоков на маршруте с помощью дверных датчиков (АСМ-ПП) и показала отличие на тех же маршрутах в пределах 5–8 % для большинства остановочных пунктов. Цепочки передвижений, отслеживаемые по деперсонифицированному пассажиру, позволяют изучить поведенческие характеристики пассажиров, выбор путей и видов транспорта в зависимости от различных условий поездки.

This research evolves the application of Automated Fare Collection (AFC) and Automatic Vehicle Location (AVL) databases to produce Origin-Destination (OD) passenger matrix on a stop-to-stop basis, using Moscow as a case study. It demonstrates the feasibility of applying trip-chaining to infer bus passenger OD from smart card transactions and AVL data. The received matrix is compared with traditional Automatic Passenger Counting (APC) data, collected with door detectors, on the same routes and gives variation in about 5-7% for most of the stops. Travel chains, linked to a depersonalized passenger, allows investigating passenger travel behavior, including way and mode choice depending on various travel conditions.

Актуальность вопроса. Определение матрицы пассажирских корреспонденций является одной из наиболее актуальных задач транспортного моделирования и планирования. Для обоснования решений транспортного планирования (от изменений маршрутной сети до строительства метрополитенов) необходимо рассчитывать эффективность вариантов предлагаемых транспортных решений – то есть определять эффект изменений и их стоимость. Основой для расчета эффекта как раз и является матрица корреспонденций, данные об усредненном существующем или прогнозном количестве передвижений граждан по транспортной системе между точками (районами) отправления и назначения.

Период упреждения прогноза и точность матрицы определяются характером задачи. Для разработки Генеральных планов, обоснования схем развития транспортной инфраструктуры необходим прогноз корреспонденций на 20–30 лет с укрупненными транспортными районами (с размерами района порядка 2–4 км). Для оптимизации марш-

рутной сети прогноз не требуется или необходим в минимальной степени (краткосрочная экстраполяция наблюдаемых тенденций) – сеть должна актуализироваться практически ежегодно в соответствии с имеющейся транспортной инфраструктурой и флуктуациями спроса, связанными с вводом в строй новых объектов (точные сроки ввода которых можно установить не более чем за полгода). При этом требуется высокая точность локализации мест отправления и назначения (особенно для планирования работы маршрутных групп) – желательно с точностью до каждого остановочного пункта.

Для всех указанных видов задач основой являются данные о существующих корреспонденциях населения.

Методы получения матриц. Классическими методами их получения являются натурные обследования (в т.ч. талонные, анкетирование населения и т.п.), построение матриц на основе математических методов (экстраполяционных, вероятностных – гравитационный, энтропийный и т.п. и реляционных) и автоматизированные методы.

Недостатками натурных обследований (талонных, анкетирования) являются значительная трудоемкость ручной работы по сбору и обработке данных, влияние человеческого фактора (высокая доля выбраковки данных), а следовательно – высокая стоимостью проведения каждого обследования и анкетирования, отсутствие статистики повторяемости наблюдаемых явлений (невозможность отделить погодные условия и особенности конкретного дня от среднестатистической картины, невозможность выявления «среднего дня»). Высокая стоимость и трудоемкость приводят к тому, что эти методы применяются раз в 15–20 лет и не позволяют проводить оперативное управление транспортной системой и своевременно обосновывать управленческие решения.

К недостаткам математических методов можно отнести неточность используемых исходных данных (статистика населения и количества рабочих мест по районам города, данные Пенсионного фонда о местах регистрации населения и юридических адресах рабочих мест, точность которых и соответствие фактическим местам отправления и прибытия респондентов значительно снижена), а также гипотетический характер методов расчета. Например, гравитационная модель учитывает дальность объектов как основной фактор выбора места назначения – это хорошо моделировало ситуацию выбора мест работы в первичном и вторичном секторе экономики

(при равных условиях труда и заработной плате в целом по городу), но не соответствует ситуации четвертичного сектора, когда рабочие места узкоспециализированы и выбор рабочего места вовсе не определяется дальностью передвижения от дома.

Автоматизированные методы учета и обследований (например, установка датчиков подсчета пассажиров) решают проблему трудоемкости, дороговизны и разового характера ручных натурных обследований, но не позволяют определить следование пассажиров по системе в целом и даже внутри одного маршрута (матрица внутримаршрутных корреспонденций также строится на основе предположений – например, по «гравитационной модели» предпринимается попытка «высадить» на каждой остановке тех пассажиров, которые сели в автобус раньше других, что часто не соответствует реальности).

С развитием информационных технологий находят широкое применение системы, в которых массовый и непрерывный сбор данных о передвижениях является побочным продуктом в ходе достижения некоторой основной цели. Например, в системах сотовой связи основная цель – обеспечение услуг связи, а в системах оплаты проезда – распределение финансирования по числу поездок и внедрение гибких пассажирских тарифов. Преимуществом указанных систем является непрерывный характер их работы (позволяющий собирать данные за произвольные периоды вплоть до нескольких лет), а также их создание независимо от необходимости исследовать подвижность населения. Фактически, данные уже собираются, необходимо только получить и проанализировать их.

В то время как данные о перемещениях абонентов сотовой связи могут успешно использоваться для определения матрицы корреспонденций в целом (индивидуальный и общественный транспорт), они хуже подходят для целей общественного транспорта (отсутствует привязка данных к остановкам и маршрутам). В этой связи представляет интерес идея построения матрицы на основе номеров электронных транспортных карт, используемых для оплаты проезда: пассажир, используя одну и ту же карту на протяжении длительного срока, отмечает её на валидаторах транспортной системы и фактически обозначает путь своего перемещения. Получение матрицы основано на выделении и исследовании цепочек таких передвижений.

Основными преимуществами построения матрицы пассажирских корреспонденций на основе систем оплаты проезда являются: точ-

ная привязка пассажира к местам использования транспортной системы (конкретный рейс автобуса или станция метро); непрерывность сбора статистики, позволяющая устранять ошибки наблюдений и уверенно определять искомый «усредненный рабочий день» с наперед заданной точностью; возможность определения поведенческих характеристик пассажиров, которые ранее были недоступны (пересадки между маршрутами и подсистемами, выбор видов транспорта, постоянство картины спроса для каждого потребителя).

Международная практика применения метода. Попытки использования данных системы оплаты проезда и навигационных отметок за рубежом (США, Китай, Великобритания и др.) предпринимались ещё в середине 2000-х [2–6]. Практическая реализация была осуществлена, в частности, в Лондоне путем совмещения двух независимых систем – оплаты проезда по единой карте Oyster, внедренной с 2003 года на всех видах транспорта, и навигационной системе отслеживания передвижений автобусов.

Методика получения матрицы корреспонденций по данным оплаты проезда в международной практике основывается на построении цепочек передвижения транспортом общего пользования (цепочек мест валидаций билета пользователем) в течение дня, для чего необходимо принять следующие допущения:

- пассажир, как правило, использует для выезда тот же остановочный пункт, на которой он прибыл (не отходит далеко от места прибытия);

- пассажир, тем более, не использует каких-либо иных средств удалиться от остановки последнего прибытия без валидаций (например, не использует индивидуальный автомобиль или велосипед);

- последняя поездка каждого дня заканчивается там, где начинается поездка последующего дня.

Учитывая, что под остановочным пунктом мы понимаем не одну остановочную площадку, а, как правило, группу остановочных площадок и станций в зоне одного перекрестка или транспортного узла – данные допущения являются вполне справедливыми (среди постоянных пользователей общественным транспортом доля поездок с систематическим использованием иных видов транспорта невелика). Статистические методы (благодаря непрерывности наблюдений) позволяют для каждого пользователя установить место начала передвижения утром (как наиболее вероятное место прожи-

вания), дневного передвижения (как наиболее вероятное место работы или пребывания днем), а также статистически установить, в какой доле случаев пассажир не был отмечен системой валидации (т.е. либо отклонился от маршрута, либо использовал альтернативные возможности проезда).

Зарубежные коллеги столкнулись с разрозненностью баз данных: к сожалению, разработчики систем оплаты проезда часто не утруждаются внедрить информацию о местоположении автобуса в момент оплаты проезда. Система диспетчерского управления и система оплаты проезда, как правило, создаются разными организациями с совершенно различными целями (обеспечение соблюдения расписания либо фискальные функции) и интеграция этих данных требует отдельных усилий.

В России данная технология впервые была применена для анализа матрицы в системах со стационарно установленными турникетами, для которой не требуется использовать навигационную базу данных – например, на метрополитене (выполнялось ещё в 2012 году консультантами Департамента транспорта г. Москвы, аналогичная система анализа разработана для метрополитена Санкт-Петербурга). До 2012 года комплексно по всей транспортной системе провести эти исследования в России было невозможно, т.к. нигде не было обеспечено полное покрытие хотя бы муниципального транспорта навигационной системой и системой оплаты проезда. Например, в Москве единая система оплаты проезда на метрополитене и всех маршрутах наземного транспорта действовала уже к 2006 году, однако на наземном транспорте отсутствовала диспетчерская и навигационная системы. В частности, авторы статьи прорабатывали возможность построения матриц внутримаршрутных корреспонденций только по данным об оплате проезда (без навигационных отметок только по статистике частоты валидаций билетов), что оказалось весьма трудоемким.

По сведениям авторов, в России отсутствуют иные примеры построения матриц корреспонденций на основе систем оплаты проезда и навигации, подтвержденные публикациями.

Применение метода в России. Построение матрицы корреспонденций по билетным валидациям наземного транспорта в России стало возможным после оснащения 100 % транспортных средств ГУП «Мосгортранс» автоматизированной системой оплаты проезда

с турникетами на входе (2006) и навигационной диспетчерской системой (2012). Система с турникетами обязывала каждого пассажира валидировать свой билет (в т.ч. льготный, проездной) при входе в автобус.

Данные для построения матрицы были получены в ходе работы по оптимизации маршрутной сети г. Москвы, выполняемой авторами по заказу Правительства Москвы (ГУП «Мосгортранс») в 2012 году. Работа по построению матрицы производится путем написания программного кода в среде MS SQL. Основные задачи, которые были решены при разработке алгоритма, описаны ниже.

1. Сопоставление баз данных оплаты проезда и навигации. В связи с тем, что системы разрабатывались независимыми поставщиками для единственного потребителя и без задачи объединения указанных систем, документированный способ объединения указанных баз данных отсутствует. В случае Москвы было установлено, что определить место валидации можно, сопоставляя время валидации (и отметки координат) и номер выхода (графика) транспортного средства, однозначно сопоставляемый с модулем определения координат. Значительную сложность представляет ручной ввод сотрудниками транспортных предприятий номеров выходов, из-за которых в ряде случаев сопоставление выходов производится путем дополнительной алгоритмической обработки и сопоставления вручную (например, сопоставлялось время начала и окончания выезда из парка по координатам, конфигурация движения транспортного средства и время начала и окончания валидации билетов). Указанных недостатков можно легко избежать при постановке руководством города задачи унификации системы нумерации выходов (графиков, водителей и т.п.) и строгого соблюдения указанной отчетности; наилучшие результаты дает привязка системы финансового вознаграждения к отчетности, полученной по сопоставлению данных указанных систем.

Дополнительную сложность представляют точность определения координат (в ряде случаев отклоняются на десятки метров в сторону от трассы), сопоставление времени в базах данных (при отклонении одной базы от другой на 1-2 минуты валидации будут привязаны уже к другой остановке), одновременный характер валидации билетов (проходы через турникет продолжаются после отправления от остановки).

2. Восстановление цепочки передвижений. Потеря координат следующей валидации (а с ней и места назначения поездки) происходит по следующим причинам. Прежде всего, координаты следующей поездки невозможно определить при окончании билета в текущей поездке – т.е. для всех билетов «на одну поездку», а также для последних поездок по всем «поездочным» билетам (на 2,5, и т.п. 60 поездок) и при окончании срока действия срочных билетов. Прочие причины потерь координат следующей поездки – временные отключения GPS и ГЛОНАСС, а также неустранимые несоответствия баз данных.

Визуально результаты сопоставления для Москвы представлены на рисунке 1, для Санкт-Петербурга – на рисунке 2.

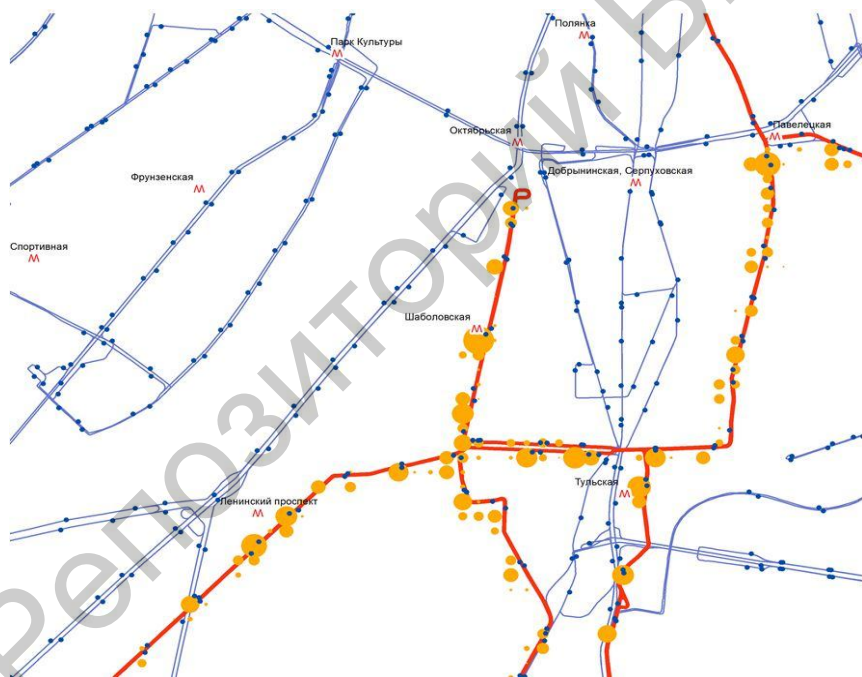


Рисунок 1 – Сопоставление баз данных валидации (АСКП) и навигационных отметок в Москве (сеть маршрутов трамвайного депо им. Апакова, район ст.м. Шаболовская – Тульская)

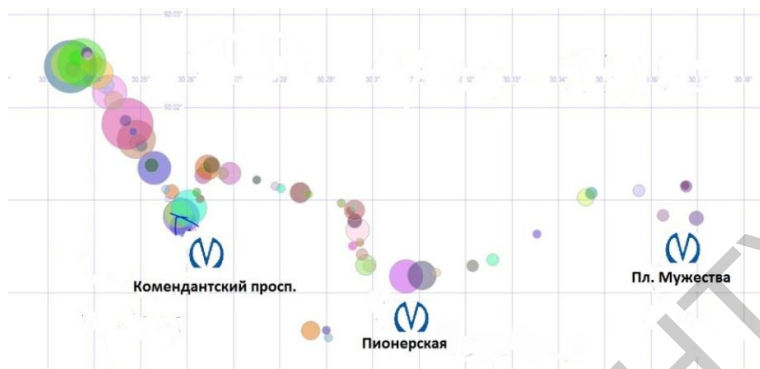


Рисунок 2 – Сопоставление баз данных валидации и навигационных отметок в Санкт-Петербурге (троллейбус № 50)

Обе указанных причины хорошо поддаются устранению. С 2013 года Правительство города активно внедряло единую карту «Тройка», в том числе для записи разовых билетов. Были установлены значительные скидки при записи любых билетов на карту «Тройка» и наценки – для тех, кто покупает те же билеты без использования карты «Тройка» (например, 1 поездка по карте тройка обойдется 32 рубля, а без карты – 50 рублей). В результате активной политики количество пользователей карты «Тройка» выросло до 5 миллионов. С учетом количества держателей социальной карты Москвича (4,5 миллиона), общее число пользователей постоянных карт составляет уже около 80 % населения Москвы, таким образом доля постоянных карт в структуре пассажиропотока ещё выше.

Проблема потери координат и различий в базах данных может быть решена административным путем и с учетом использования улучшенных датчиков GPS с уменьшенным количеством отказов.

Поездки, для которых были неизвестны место начала и окончания, распределяются пропорционально поездкам, для которых место начала и окончания известны. Во всяком случае общее количество пассажиров при перераспределении совпадает с количеством валидаций билетов, поэтому суммарный пассажиропоток на маршруте остается сбалансированным.

Даже по состоянию на 2012 год, когда карта Тройка ещё не была внедрена, системы не имели единой системы идентификаторов и GPS работал с низким качеством, доля поездок с точно определен-

ными началом и окончанием превышала 60 %. Сегодня, при охвате 80 % населения (т.е. ещё большей доли пассажиров) постоянно действующими картами оплаты проезда, доля поездок с неизвестным началом и окончанием существенно снизится.

Как показали результаты анализа, наибольшая точность определения поездок (около 65 %) наблюдается в утренние часы пик, т.к. вторая (а в ряде случаев и третья – из центра города) поездка, как правило, происходит с использованием метрополитена с заведомо известными координатами вестибюля. К вечеру доля поездок с определенными началом и окончанием снижается примерно до 55 %.

3. Переход от непрерывной цепочки к поездкам. Для построения внутримаршрутной матрицы корреспонденций (аналога матрицы, восстанавливаемой по датчикам подсчета пассажиропотоков) достаточно определить только место посадки и последующей высадки (посадки на другой маршрут) по конкретному маршруту; однако для восстановления полного передвижения необходимо было где-то оборвать (закончить) непрерывную последовательность координат валидаций, чтобы отделить простые пересадки между маршрутами от полного передвижения (определить место начала и окончания всей поездки без учета пересадок).

Данная задача была решена путем кластерного анализа продолжительности поездок и экспертного определения интервала времени, при превышении которого (от момента первой валидации) поездка уже должна закончиться, а последующие валидации – трактоваться как другая поездка. Эта задача должна выполняться индивидуально в каждом городе.

Сопоставление результатов построения матрицы с данными обследований пассажиропотока. С целью оценки и сопоставления результатов построения матрицы с ранее использовавшимися методами наблюдения мы сравнили процентное соотношение числа входов, выходов и наполнения подвижного состава, полученное на маршруте трамвая №17 по матрице валидаций, с традиционным методом получения такой информации по датчикам входа-выхода пассажиров (АСМ-ПП). В обоих случаях матрицы были построены усредненно по данным нескольких дней наблюдений, при этом в матрице АСМ-ПП отсутствовала какая-либо специальная обработка данных (например, не проводилось построение матриц корреспонденций – были взяты данные по входам и выходам, напрямую получаемые с датчикам и усредненные).

Для большей части остановочных пунктов отклонение данных матрицы валидаций не превысило 5–8 % от данных, полученных ранее по системе АСМ-ПП. Наибольшие отклонения наблюдались в специальных случаях: на остановках с минимальным пассажиропотоком, а также на специальных остановках «только для высадки пассажиров», где система АСМ-ПП в ряде случаев ошибочно показывала значительный объем входа; или, наоборот, показывала значительный объем выхода на остановках «только для посадки» (например, на второй остановке у ст. м. Бабушкинская, при том, что весь выход должен был произойти на первой из остановок).

Результаты сопоставления представлены на рисунках 3, 4.

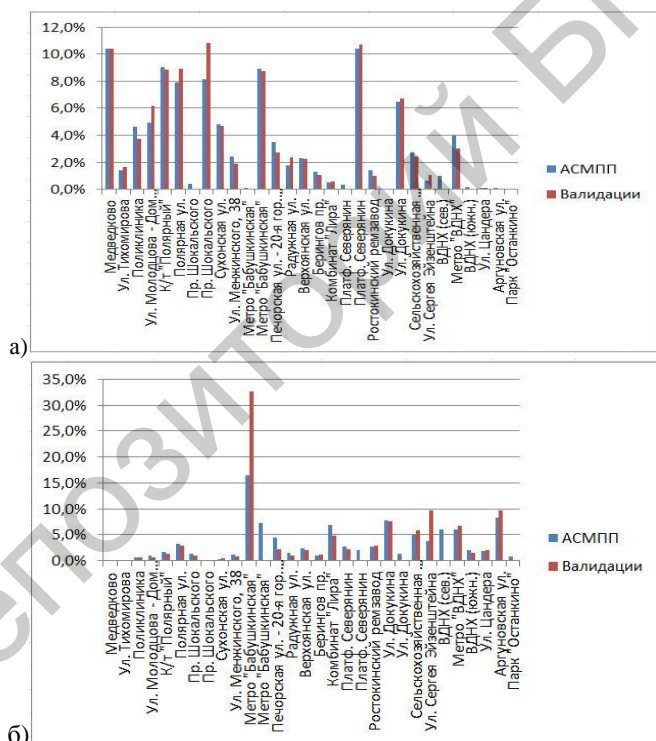


Рисунок 3 – Распределение посадки (а) и высадки (б) пассажиров по остановкам: сравнение данных по датчикам входа-выхода и по матрице валидаций системы оплаты проезда, трамвай № 17, утренний час пик усредненно за несколько рабочих дней

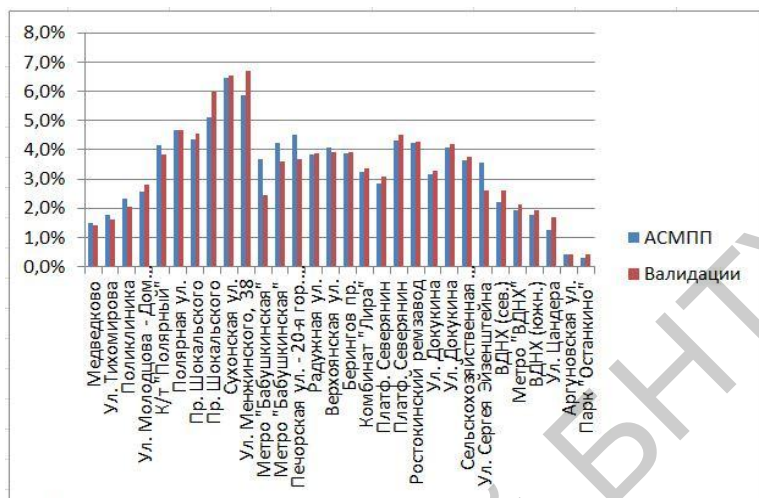


Рисунок 4 – Распределение наполнения пассажиров по перегонам: сравнение данных по датчикам входа-выхода и по матрице валидаций системы оплаты проезда, трамвай № 17, утренний час пик усреднено за несколько рабочих дней

Как можно видеть, даже при определении точных мест посадки только в 60 % поездок, матрица валидаций хорошо приближается к результатам замеров по датчикам входа-выхода, которые являются на сегодня основным средством автоматизированных обследований внутримаршрутных корреспонденций, при этом в ряде случаев матрица валидаций показывает даже лучшие результаты. С увеличением доли пользователей постоянных карт и повышением точности навигационного оборудования эти результаты значительно улучшатся.

Перспективы применения матрицы корреспонденций, построенной по данным валидаций билетов. Полученная матрица может быть применена в качестве исходных данных о существующих пассажиропотоках и спросе на транспорте общего пользования – как для калибровки транспортных моделей городов (в части пассажирского транспорта), так и для планирования маршрутных сетей. Высокую ценность представляет точность определения мест посадки (фактически строится межстаночная матрица корреспонденций), возможность отслеживания индивидуальных перемещений каждого обезличенного пассажира (поведенческие характеристики),

возможность статистического анализа за длительный период и получения устойчивых закономерностей передвижений.

В частности, матрица позволит определить следующее:

1) рассчитать «средний будний день» исходя из наперед заданных граничных значений – например, соблюдение указанного уровня загрузки 95 % дней в году. Планирование системы на полную загрузку (достигаемую только 3–5 дня в году) привело бы к неоправданному перерасходу ресурсов;

2) рассчитать распределение пассажиров по повторяемости времени и мест назначения поездок, определить, насколько постоянны пользователи в своих предпочтениях выбора времени и назначения поездки, какая доля поездок является вынужденной;

3) определить, насколько гравитационная модель справедлива для современных экономических условий с развитым четвертичным сектором экономики;

4) определить поведенческие характеристики пассажиров при выборе между конкурирующими путями передвижения (в зависимости от условий пересадки в ТПУ, выбора видов транспорта, наличия обособленных полос, наполняемости и т.п.);

5) вычислить время движения с учетом пересадок и т.п.

С помощью представленного метода мы можем получить практически полные знания о фактических потребностях пассажиров и их реальном поведении в зависимости от транспортной ситуации. Точность метода может быть существенно повышена путем установления требований заказчиков (администраций городов) к тарифам и правилам оплаты проезда (приоритет постоянных карт), совместимости систем и качеству определения координат транспортных средств.

Литература

1. Wei Wang, John P. Attanucci and Nigel H.M. Wilson. Bus Passenger Origin-Destination Estimation and Related Analyses Using Automated Data Collection Systems // Journal of Public Transportation. – Vol. 14, No. 4. – 2011.

2. Bagchi, M. The potential of public transport smart card data / M. Bagchi, P.R. White // Transport Policy. – 2004. – № 12. – С. 464–474.

3. Barry, J. Using entry-only automatic fare collection data to estimate linked transit trips in New York City / J. Barry, R. Freimer, H. Slavin //

Transportation Research Board 2008 Annual Meeting CD-ROM, Washington, D.C. – 2008.

4. Cui, A. Bus passenger origin-destination matrix estimation using automated data collection systems / A. Cui // MS Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge. – 2006.

5. Hardy, N. iBus benefits realization workstream: Method & progress to date / N. Hardy // 16th ITS World Congress and Exhibition, Stockholm, Sweden. – 2009.

6. Jang, W. Travel time and transfer analysis using transit smart card data / W Jang. // Transportation Research Board 2010 Annual Meeting CD-ROM, Washington, D.C. – 2010.

Поступила 28 декабря 2016 года

УДК 656.022 : 711

**НЕМАРШРУТНЫЙ ТРАНСПОРТ В СТРУКТУРЕ
МОБИЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ Г.МИНСКА**

Ф.Г. Глик

В Минске в 2016 году проведены два широкомасштабных (анкетное и натурное) обследования по выявлению степени пользования населением города личным легковым автомобилем при совершении внутригородских и загородных поездок. Рассмотрена методика обследования.

In Minsk in 2016, two large-scale (questionnaire and on-site) surveys were conducted to identify the rate of a personal car use by the city population committing intraurban and suburban trips. The survey procedure is considered.

В настоящее время в УП «Минскград» (Республика Беларусь) разрабатывается проект специального планирования «Комплексная транспортная схема г. Минска». В состав проекта заложены несколько объемных транспортно-градостроительных обследований, одно из которых включает анкетное (опросное) обследование мобильности самодеятельной части населения.