

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

Д. В. КАПСКИЙ, доктор технических наук, Белорусский национальный технический университет, г. Минск; С. В. СКИРКОВСКИЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; Л. А. ЛОСИН, кандидат технических наук, Санкт-Петербургский экономико-математический институт РАН, г. Санкт-Петербург

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ

Рассмотрены принципы построения транспортной модели, этапы построения общей модели в рамках разработки генерального плана и других документов, а также вопросы, связанные с генерацией поездок (транспортного поведения населения, определяющего его подвижность) в рамках транспортной сети городов (учет транспортного спроса).

По сути, построение транспортной модели должно вестись с помощью геоинформационной системы, которая является аппаратно-программным человеко-машинным комплексом, который обеспечивает сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координатных данных, интеграцию информации и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием, управлением окружающей средой и территориальной организацией общества в городской агломерации [1, 2]. Городская агломерация – обладающая отчетливыми признаками территориальной и функциональной целостности, относительно компактная в пространственном отношении совокупность, группа городских и сельских населенных пунктов (поселений) с прилегающими к ним межселенными территориями, объединенных в сравнительно обширную и сложную территориальную систему с многообразными, достаточно устойчивыми и интенсивными взаимосвязями. При этом транспортное районирование представляет собой способ агрегирования индивидуальных потребностей пользователей при использовании транспортной сети в некую общность по определенным параметрам для целей моделирования. Необходимо отметить, что точность модели – величина отклонения значений выходных данных модели от реально измеренных значений этих параметров [2–4].

В модели, безусловно, необходимо учитывать транспортный спрос – количественно определенные потребности в перевозках и дополнительных транспортных услугах, и целевую подвижность населения (показатель, характеризующий среднюю частоту целевых передвижений населения города в течение года) и элементарную подвижность населения (показатель, характеризующий среднюю частоту элементарных передвижений населения города в течение года). Само собой, целевое передвижение можно трактовать как последовательную совокупность элементарных передвижений, осуществляемых человеком для достижения отдельных достаточно масштабных, значимых целей, определяющих укрупненную структуру его суточного цикла жизнедеятельности в городской агломерации.

В общем виде схема расчета интенсивности транспортных потоков состоит из следующих этапов (четырёхэтапная схема): генерация поездок; распределение

поездок по транспортным районам (моделирование матрицы межрайонных корреспонденций); выбор способа передвижения; распределение поездок по сети (моделирование потокораспределения в сети).

Расчетная схема может включать в себя только часть указанных процедур. Состав операций определяется особенностями поставленной задачи и комплектностью исходной информации. Например, для укрупненной оценки корреспонденций между планировочными районами в рамках разработки генерального плана города бывает достаточно только расчета матрицы корреспонденций. В ряде случаев элементы матрицы корреспонденций могут полностью или частично выступать в качестве исходной информации; например, при наличии данных о передвижении между районами, полученных в ходе социологического опроса, или при наличии информации о транзитных грузопотоках.

Три первых этапа данной схемы составляют оценку транспортного спроса.

Следует отметить, что в ряде ранее использовавшихся в проектной практике моделей расчет автомобильных и пассажирских потоков производился раздельно; при таком подходе распределение потоков по видам транспорта может включаться в процедуру подготовки исходных данных для моделирования.

Основными факторами, определяющими количество совершаемых передвижений и их распределение по транспортной сети города, являются [5]:

- потокообразующие факторы, т. е. размещение объектов, порождающих передвижения – места проживания, места приложения труда, объекты культурно-бытового обслуживания;
- характеристики транспортной сети, такие как количество и параметры улично-дорожной сети, параметры организации движения, маршруты и провозные способности городского общественного транспорта;
- поведенческие факторы, такие как мобильность населения, предпочтения при выборе способов и маршрутов передвижения.

В общем виде процедура генерации поездок состоит в переходе от известных значений потокообразующих факторов (количество проживающих, количество рабочих мест и т. д.) к объемам передвижений по транспортным районам в единицу времени, как правило, в сутки или в час. Формирование массивов генерации спроса («отправлений» и «прибытий» по транспортным райо-

нам) производится с учетом ряда факторов. Единица измерения элементов массива – «человек в единицу времени» (в случае отдельного расчета интенсивности автомобильных потоков в качестве единицы измерения может быть «транспортных средств в единицу времени»).

Одним из таких основных факторов, характеризующих транспортное поведение населения, является величина подвижности населения; далее приведены определения и основные подходы к расчету и прогнозированию этого параметра.

Под элементарным передвижением будем понимать отдельный, «качественно однородный», неделимый акт физического перемещения человека в городском пространстве (за пределами зданий, сооружений) пешком или с использованием транспортного средства конкретного вида транспорта и определенного маршрута. Соответственно, элементарная подвижность населения города – это показатель, характеризующий среднюю частоту элементарных передвижений населения города в течение года. Определяется элементарная подвижность путем деления общего количества (числа) совершенных в течение года элементарных передвижений в городе на среднегодовую суммарную численность постоянного и временного населения города.

Можно разделить элементарную подвижность на составляющие по видам транспорта. Различают общую подвижность населения – среднее число всех передвижений по территории города, и транспортную подвижность населения – среднее число поездок на транспортных средствах. Единица измерения подвижности – «поездок на жителя в год».

Для осуществления нескольких последовательных элементарных передвижений одного и того же человека в один и тот же день чаще всего характерна некоторая, объединяющая их (элементарные передвижения) целевая мотивация. Отсюда можно вывести следующее определение: целевое передвижение – это последовательная совокупность элементарных передвижений, осуществляемая человеком для достижения отдельных, достаточно масштабных, значимых целей, определяющих укрупненную структуру его суточного цикла жизнедеятельности. В своем массовом, статистическом смысле целевые передвижения осуществляются для того, чтобы, например, от места жительства попасть к месту приложения труда или к месту учебы. Соответственно сказанному выше целевая подвижность населения города – это показатель, характеризующий среднюю частоту целевых передвижений населения города в течение года. Определяется такая подвижность путем деления общего количества (числа) совершенных в течение года целевых передвижений в городе на среднегодовую суммарную численность постоянного и временного населения города.

Как правило, совмещение поездок на индивидуальном и общественном транспорте происходит достаточно редко (хотя во многих городах наблюдается рост комбинированных передвижений), поэтому целевую подвижность можно разделить на группы по видам транспорта, включая пешие передвижения и передвижения на велосипедах. У разных видов целевой подвижности наблюдаются различные закономерности, зависящие от многих факторов (рисунок 1).

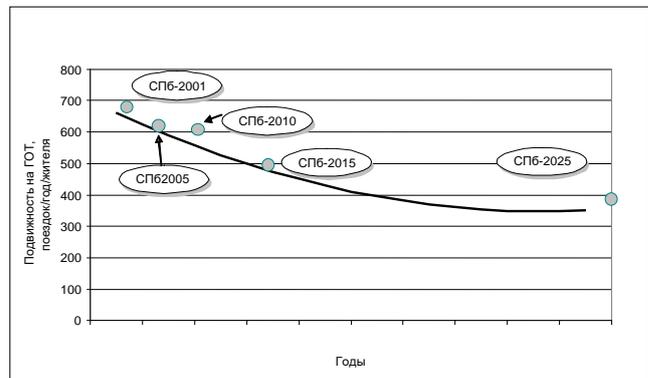


Рисунок 1 – Динамика подвижности населения на общественном транспорте (Санкт-Петербург)

Ряд проведенных исследований [6] указывают на то, что на структуру подвижности существенно влияет величина среднечасового дохода населения и плотность населения города. Величина подвижности на городском общественном транспорте увеличивается по мере возрастания плотности населения и уменьшения величины его душевого дохода (рисунки 2, 3). В городах с высокой плотностью населения уменьшаются расстояния перемещения, что делает население менее восприимчивым к невысоким скоростям сообщения на ГОТ. По мере роста душевого дохода повышаются требования населения к скорости перемещения при одновременном росте возможностей личной автомобилизации. Это приводит к снижению потребности в относительно менее скоростном и менее комфортабельном общественном транспорте и переориентации на индивидуальный транспорт.

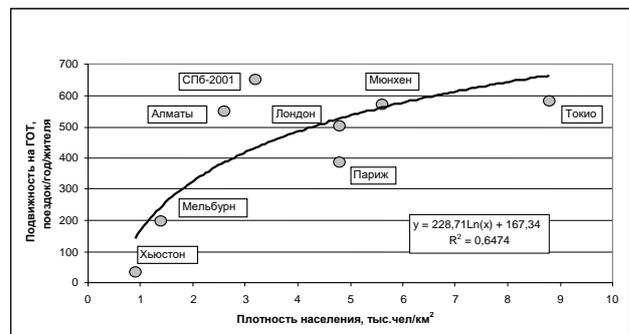


Рисунок 2 – Зависимость подвижности на общественном транспорте от плотности населения

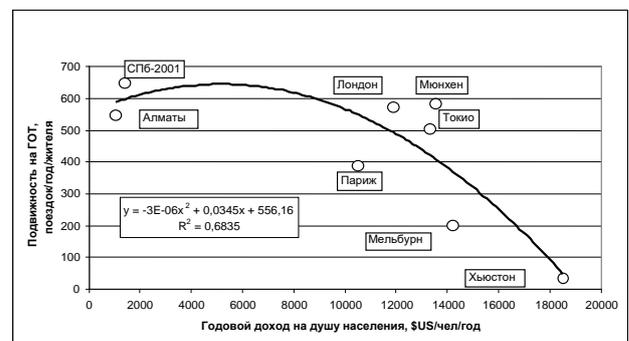


Рисунок 3 – Зависимость подвижности на общественном транспорте от дохода

Задачу прогнозирования подвижности населения города можно разделить на две подзадачи: прогнозирования общей величины подвижности и ее структуры по видам осуществления. Один из методов количественной оценки уровня подвижности – социологический. Сбор данных о транспортной подвижности населения основан на домашнем интервьюировании респондентов, распределенных по территории города согласно принципам квотной выборки в соответствии с пространственным распределением населения и его половозрастной структурой.

Но подвижность на индивидуальном транспорте и, соответственно, на общественном транспорте, зависит от уровня автомобилизации населения (под уровнем автомобилизации понимают количество зарегистрированных автомобилей на 1000 жителей). Уровень автомобилизации на перспективу определяется документами территориального планирования на основе значений, предлагаемых нормативами.

Нужно отметить, что нормативные показатели уровня автомобилизации в ряде случаев могут оказаться сильно заниженными, так как при их определении не всегда учитывают современные тенденции резкого увеличения количества автомобилей в личном пользовании. Частота использования личного транспорта при передвижении по городу и, в частности, для ежедневных трудовых поездок, зависит от множества факторов и не может быть поставлена в прямую зависимость от уровня автомобилизации населения.

Для определения объемов «отправлений» и «прибытий» на индивидуальном и общественном транспорте значение уровня автомобилизации целесообразно использовать совместно с системой поправочных коэффициентов, например, коэффициента использования индивидуального транспорта.

Все известные модели коэффициента использования индивидуального транспорта представляют попытку связать его значение с 1–2 факторами городской системы передвижений. Но реальный процесс его формирования намного сложнее и происходит под влиянием целой системы факторов [3, 7, 8].

Принятие решения об использовании транспорта или отказе от него у субъекта перемещения происходит при ассоциированном действии таких параметров транспортной системы, как плотность сети, интервал движения, ценовые и качественные характеристики транспорта и т. д. Выбор зависит от свойств самого субъекта и его перемещения: уровня его доходов, наличия личного автомобиля, расстояния перемещения и т. д. Оказывает свое влияние и среда: например, величина эксплуатационных расходов существенно определяет решения о пользовании личным автомобилем.

При решении задачи генерации поездок происходит переход от численности населения, количества рабочих мест, мощности объектов притяжения, других характеристик территории в количественные параметры, приведенные к некоторому временному диапазону. Как правило, расчет «отправлений» и «прибытий» производится для каждой группы участников передвижения отдельно, следовательно, необходимо изучить структуру городских (агломерационных) передвижений применительно к конкретному проекту с учетом точности

моделирования [2, 3, 9]. Обычно все передвижения подразделяются на четыре основные группы.

А. Передвижения по трудовым и учебным целям – передвижения работающих по найму лиц (рабочих и служащих) и предпринимателей от мест жительства к местам приложения труда и обратно, передвижения студентов и учащихся учреждений высшего, среднего и начального профессионального образования к местам учебы и обратно, передвижения школьников к школам и обратно.

Б. Передвижения по культурно-бытовым целям – передвижения населения всех социальных групп к предприятиям культурно-бытового обслуживания (зрелищным учреждениям, торговым центрам и т. п.) и обратно.

В. Рекреационные передвижения – передвижения населения всех социальных групп к местам длительного или кратковременного отдыха и обратно.

Г. Деловые передвижения – передвижения лиц, работающих по найму (рабочих и служащих) и предпринимателей в течение рабочего дня в связи с производственными, деловыми нуждами предприятий, учреждений, организаций.

Если в 1980-е годы при проведении расчетов с помощью модели можно было ограничиться учетом только трудовых корреспонденций, то при расчетах современных и, особенно, перспективных потоков, необходимо учитывать, как минимум, трудовые и деловые передвижения. В некоторых моделях при необходимости более детального учета целевых передвижений могут также выделяться транзитные передвижения, передвижения, «внешние» по отношению к территории рассмотрения, грузовые передвижения, велосипедное движение, перемещения с помощью средств индивидуальной мобильности и т. д.

Выбор интервала времени для моделирования осуществляется на основе определения периода максимальной загрузки сети, что требует исследования часовой, суточной и сезонной цикличности автомобильных или пассажирских потоков. В проектной практике для периода моделирования часто выбирается утренний час пик. Он имеет наиболее простую структуру, с той точки зрения, что в утренний максимальный час перевозок значительную долю составляют трудовые корреспонденции («дом – работа»), которые хорошо поддаются формализации: трудовые корреспонденции являются наиболее устойчивыми по направлению и величине, наиболее концентрированными по времени суток и наиболее обязательными.

В то же время за последние годы график зависимости потока от времени суток претерпел значительные изменения: если ранее наблюдались ярко выраженные утренние и вечерние пиковые нагрузки, то в настоящее время во многих городах наблюдается «сглаживание» пиков, выражающееся в расширении интервала пиковых нагрузок при одновременном уменьшении доли максимального часа в суточном объеме перевозок. Причем по территории города эти закономерности могут варьироваться в зависимости от преобладающего функционального назначения территории, удаленности от центра, социального состава населения и других факторов.

Для нивелирования указанных различий в характере цикличности потоков в качестве интервала времени для моделирования иногда целесообразно выбирать условный (расчетный) час. В качестве же расчетного часа может быть принят утренний среднемаксимальный час, в пределах которого величины потоков представляют собой 40 % от максимального утреннего трехчасового потока. Такой подход позволяет, в том числе, нивелировать «волну», когда период максимальной загрузки сети в утренний час пик «перемещается» от периферии к центру города.

Список литературы

1 **Врубель, Ю. А.** Определение потерь в дорожном движении : монография / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Е. Н. Кот. – Минск : БНТУ, 2006. – 240 с.

2 **Капский, Д. В.** Транспорт в планировке городов : пособие для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения». В 10 ч. / Д. В. Капский, Л. А. Лосин. – Минск : БНТУ, 2019. – Ч. 1: Транспортное планирование: математическое моделирование. – 94 с.

3 **Капский, Д. В.** Методология повышения качества дорожного движения : [монография] / Д. В. Капский. – Минск: БНТУ, 2018. – 372 с.

4 Транспортное моделирование и оценка условий дорожного движения с использованием навигационной информации : монография / Д. В. Капский [и др.]. – Минск : Капитал Принт, 2018. – 144 с.

5 **Швецов, В. И.** Математическое моделирование загрузки транспортных сетей / В. И. Швецов, А. С. Алиев. – М. : URSS, 2003. – 64 с.

6 **Михайлов, А. С.** Управление рынком перемещений городского населения / А. С. Михайлов. – Алматы : Гылым, 2003. – 238 с.

7 Теоретические и практические аспекты организации городского движения велосипедистов : [монография] / Д. В. Капский [и др.] ; под общ. ред. В. К. Шумчика. – Минск : Капитал Принт, 2019. – 374 с.

8 Синергия подходов к совершенствованию интеллектуальных транспортных систем городов в России и Белоруссии : монография / И. Н. Пугачев [и др.] ; М-во науки и высш. образования РФ, ФГБОУ ВО «ТОГУ». – Хабаровск : Изд-во ТОГУ, 2020. – 230 с.

9 Оценка экологических потерь в дорожном движении на основе GPS-данных о параметрах транспортных потоков и моделирования : [монография] / И. Н. Пугачев [и др.] ; М-во науки и высш. образования РФ. – Хабаровск : ТОГУ, 2020. – 249 с.

Получено 11.10.2021

D. V. Kapski, S. U. Skirkouski, L. A. Losin. Principles of building a transport model.

The article discusses the principles of building a transport model, the stages of building a general model within the framework of the development of an ingenious plan and other documents, as well as issues related to the generation of trips (transport behavior of the population that determines its mobility) within the transport network of cities (taking into account transport demand).