

**Расчет кривых тяготения, с использованием данных выборочного анкетирования на основе немецкой модели EVA
Левашев А.Г., Лагерев Р.Ю., Шаров М.И., Зедгенизов А.В.**

В настоящее время «Лаборатория информационных технологий на транспорте» ИрГТУ (www.transport.istu.edu) выполняет проектную работу по заказу администрации г. Иркутска. Цель проекта – прогнозирование пассажирских потоков и потоков индивидуального автомобильного транспорта. В рамках этого проекта должны быть выполнены расчеты оптимальной структуры подвижного состава маршрутного пассажирского транспорта. Расчеты пассажиропотоков и транспортных потоков будут выполняться с использованием немецкой программы транспортного макро моделирования VISSUM (производитель программы PTV Карлсруе).

В рамках расчетов перспективных пассажиропотоков специалистам лаборатории предстоит оценить межрайонную матрицу пассажирских корреспонденций. В таких расчетах используется, так называемая, функция тяготения - обобщенная оценка населением условий связи мест жительства с местами приложения труда и культурно-бытовыми центрами тяготения.

Функции кривой тяготения изучаются по категориям передвижений (трудовых, культурно-бытовых) и отличаются в разных градостроительно-транспортных условиях. Наиболее детерминированные из них - функции тяготения населения относительно мест приложения труда, которые имеют наиболее важное значение в жизни общества, определяют загрузку транспортной сети и отличаются сравнительным постоянством. Их изучение является обязательным этапом подготовки исходных данных планирования транспортных систем городов.

В математических терминах подборка функции тяготения формулируется следующим образом. Функцией тяготения называют вероятность выбора населением, реализующим передвижения A_i , целью достижения центра j . Ее определяют как количество передвижений A_{ij} из зоны i в центр зоны j , отнесенных к емкости района A_i зоны i к емкости района j по прибытиям:

$$d_{ij} = A_{ij} / (A_i A_j) \quad (1)$$

Ординаты функции тяготения $d_{ij}(1, t)$ получают делением соответствующих ординат зависимостей $A_{ij}(1, t)$ и $A_i(1, t)$. Функция тяготения имеет падающий характер и отражает тенденцию населения расселяться вблизи интересующих его центров тяготения.

Транспортно-социологические обследования расселения деятельного населения относительно объектов приложения труда и культурно-бытового тяготения для построения зависимостей $A_{ij}(1, t)$ и $A_i(1, t)$ проводят анкетными методами по местам работы и жительства и списочным методом (выборкой по местам работы бесфамильного списка адресов мест жительства трудящихся). Анкетные методы используют и для обследований передвижений населения по различным целям. Соответствующий им вид функции тяготения $d_{ij}(1, t)$ находят, используя уравнение (1).

Функция тяготения отражает факт распределения передвижений по затратам времени. В настоящее время ее рассматривают преимущественно как функцию затрат времени на передвижения по трудовым связям. В результате обследований расселения и передвижений населения в плане города с обработкой по формуле (1) получен ряд функций тяготения, аппроксимированных гиперболическими, экспоненциальными и другими зависимостями.

В частности большинство градостроительных инженеров рассматривают гиперболическую функцию тяготения:

$$d_{ij} = a/t_{ij}^k, \quad (2)$$

где a и k эмпирические коэффициенты, устанавливаемые обследованиями («калибровкой» модели в натурных обследованиях расселения и передвижений населения по различным целям); t_{ij} - затраты времени на передвижения к рассматриваемому центру тяготения j .

Модификациями модели (2) являются гиперболическая функция тяготения [1]:

$$d_{ij} = 1/t_{ij}, \quad (3)$$

квадратичная гипербола [1]:

$$d_{ij} = 1/t_{ij}^2. \quad (4)$$

Ряд авторов предлагают двух- и трехпараметрические экспоненциальные модели функции тяготения [1]:

$$\text{показательная функция } d_{ij} = a \cdot \exp(-bt_{ij}); \quad (5)$$

$$\text{показательная функция } d_{ij} = a \cdot \exp(bt_{ij}^c). \quad (6)$$

В немецкой практике проектирования транспортных систем городов для описания тяготения населения используется функция EVA

$$[2]: d_{ij} = \frac{1}{(1+t_{ij})^{\varphi(t_{ij})}}, \quad \varphi(t_{ij}) = \frac{E}{1+e^{(F-G \cdot t_{ij})}}, \quad (7)$$

где a, b, c, E, F, G – калибровочные коэффициенты.

Следует заметить, что функции тяготения по культурно-бытовым целям могут существенно отличаться от функций тяготения по трудовым. Как правило, они круче для повседневных культурно-бытовых передвижений, реализующихся в микрорайонах жительства, положе для культурно-бытовых передвижений периодического типа (внутрирайонных) и приближаются к равновероятному тяготению $d_{ij} = 1$ для культурно-бытовых передвижений эпизодического характера (городских).

Разнообразие функций тяготения определяется, прежде всего, различием характеристик обследованных ими городов, а также различием функции тяготения населения к разным центрам: местам работы, отдыха, культурно-просветительным учреждениям, зрелищным предприятиям и др. Анкетное обследование транспортной подвижности населения было выполнено в июне-октябре 2006 г. (табл. 1).

Таблица 1

Статистики исходных данных для оценки кривой тяготения

Число респондентов, чел.	4588
Максимальные затраты времени, мин.	230
Минимальные затраты времени, мин.	0
Среднее значение затрат, мин	39.06
Медиана выборки	37
Размах выборки	230
Стандартное отклонение	19.54
Дисперсия	381.90

В числе параметров, выявляемых в процессе анкетирования были, составляющие передвижений: продолжительность пешеходных подходов, продолжительность ожидания на остановочных пунктах, продолжительность маршрутных поездок, продолжительность пересадок, продолжительность поездок на индивидуальном транспорте и т.д. (рис. 1).

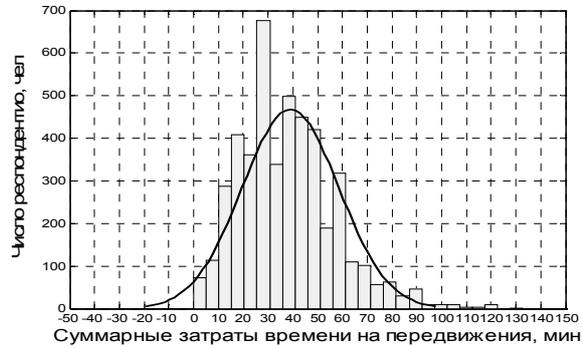


Рис. 1. Гистограмма распределения суммарных затрат времени на передвижения в г. Иркутске, аппроксимация нормальным распределением

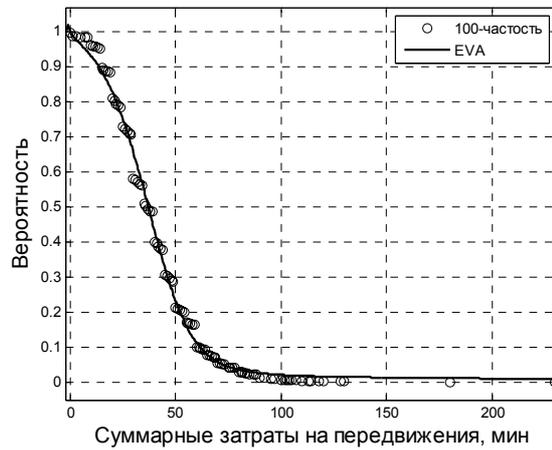


Рис. 2. Кривая тяготения, построенная с использованием данных выборочного анкетирования на основе модели EVA

Авторами была выполнена аппроксимация кривых тяготения с использованием всех представленных выше функций (формулы 3–7). Коэффициент корреляции для всех рассмотренных функций $R \geq 0.90$, что подтверждает определяющее влияние на формирование трудового расселения фактора времени сообщения между местами жительства и приложения труда. Наименьшие отклонения и наибольшие коэффициенты корреляции были получены для функции EVA (рис. 2).

Сгруппированные результаты анкетных данных в виде кривой распределения частот представлены на рис. 2. В дальнейших расчетах корреспонденций с применением динамической имитационной модели расселения VISSUM нами будут использованы параметры функции EVA, подобранные по данным г. Иркутска (рис. 3).

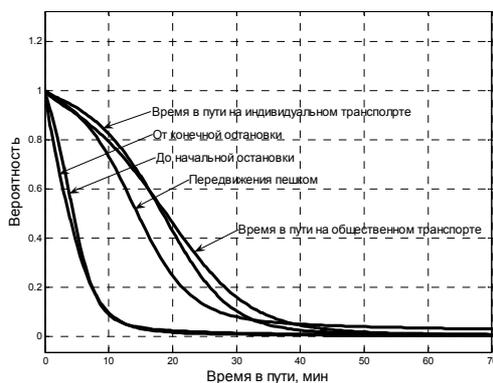


Рис. 3. Итоговые кривые тяготения, построенные с использованием данных выборочного анкетирования на основе немецкой модели EVA

Выполненный по материалам анкетных данных поиск функций тяготения показал, что наилучшей аппроксимацией обладает функция EVA:

1. Коэффициент множественной детерминации для рассмотренной функции $R^2 \geq 0.98$, что подтверждает высокое качество аппроксимации данных анкетных обследований.

2. Функции тяготения для разных видов передвижений существенно отличаются (в результате калибровки получают различные величины параметров распределения):

Тип передвижения	E	F	G
Все виды передвижений	1.078	3.855	0.0707
Индивидуальный транспорт	0.915	4.330	0.1199
Общественный транспорт	0.8618	4.517	0.09017

Результаты данного исследования еще подтверждают невозможность применения одной «универсальной» кривой для городов, отличающихся планировочно-градостроительной структурой, социальным и профессиональным составом населения, характеристиками транспортной системы. Однако усреднение функции тяготения на стадии проектирования генерального плана неизбежно вследствие неполноты необходимой информации для ее точного представления.

Литература

1. Ефремов И.С., Кобозев В.М., Юдин В.А. Теория городских пассажирских перевозок. – М.: Высш. школа, 1980. – 535 с.
2. Schnabel W., Lohse D., Latzsch, L. Grundlagen der Stra.enverkehrstechnik und der Verkehrsplanung / Band 2: Verkehrsplanung 2. neu bearbeitete Auflage.: Berlin. – 1997. – 432 p.
3. Лившиц В.В. Математическое модель случайно-детерминированного выбора и ее применение для расчета трудовых корреспонденций // Автоматизация процессов градостроительного проектирования. Сборник. М.: ЦНИИП градостроительства, 1973. с.39-57.
4. Лившиц В.Н., Стрельников А.И. Калибровка и проверка гравитационной статистической модели трудовых корреспонденций // Автоматизация процессов градостроительного проектирования. Сборник. М.: ЦНИИП градостроительства, 1983. с.79-101.