

**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](http://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).

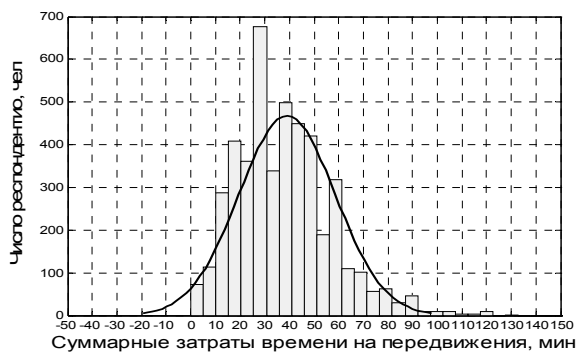


Рис. 1. Гистограмма распределения суммарных затрат времени на передвижения в г. Иркутске, аппроксимация нормальным распределением

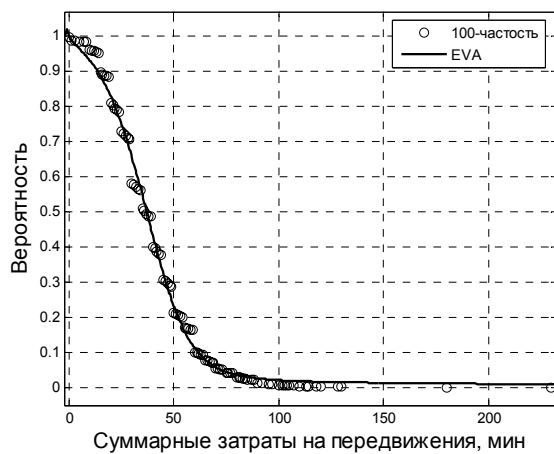


Рис. 2. Кривая тяготения, построенная с использованием данных выборочного анкетирования на основе модели EVA

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).

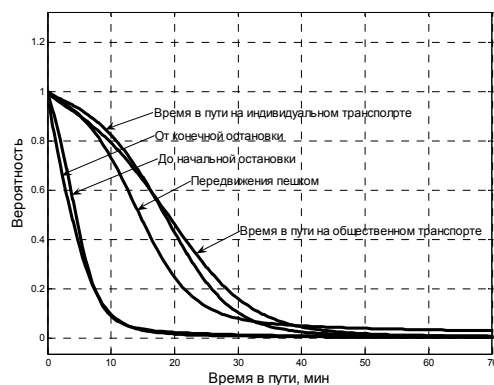


Рис. 3. Итоговые кривые тяготения, построенные с использованием данных выборочного анкетирования на основе немецкой модели EVA

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.