

Литература

1. Петербургскому метрополитену – 50 лет / В.Г. Авдеев [и др.]. – СПб.: ГМИСПб, 2005.
2. Каменский, В.А. Ленинград сегодня и завтра / В.А. Каменский. – Л.: Лениздат, 1962.
3. Генеральный план развития Ленинграда, 1966. – Ленинград: Типография № 2 Управления по печати Ленинградского горисполкома, 1966. – 32 с.
4. Материалы по обоснованию Постановления Правительства Санкт-Петербурга № 836 от 28.06.2011 г. Об отраслевой схеме развития метрополитена в Санкт-Петербурге на 2011–2015 годы с перспективой до 2025 года. – ЗАО Петербургский-НИПИГрад, 2011.
5. Постановление Правительства Москвы от 4 мая 2012 г. № 194-ПП «Об утверждении перечня объектов перспективного строительства Московского метрополитена в 2012–2020 гг.» (с изменениями на 11.11.2014 г.)
6. Письмо Комитета по экономической политике и стратегическому планированию Санкт-Петербурга исх. № 01-16-9803/16-0-1 от 10.11.2016 г.

Окончательно поступила 2 февраля 2017 г.

УДК 332:711

Оценка возможности прогнозирования пассажиропотока Новосибирского метрополитена на основе плотности жилого фонда

Д.Е. Ушаков, Д.В. Карелин

В статье представлены результаты изучения функциональной зависимости между пассажиропотоками на метрополитене и жилой площадью зданий в радиусе шаговой доступности его станций. В ходе исследования получена линейная зависимость между указанными величинами с использованием методов регрессионного анализа данных. Дана оценка применимости полученных зависимостей.

The article has results by the research of the interrelation between residential space and metro passenger traffic at walking distance from metro stations. The research has showed a linear function between the data. Also it was given an estimate possibility of the results application.

Транспортная система является необходимой структурной составляющей урбанизированных территорий, создавая высокую плотность для различных видов деятельности. [1]. Она относится к динамическим системам, так как ее параметры и характеристики непрерывно

изменяются во времени в соответствии с потребностями населения и отраслей промышленного производства. Поскольку поведение транспортной системы города невозможно описать на уровне законов (причинно-следственные связи известны не полностью), обычно выделяется и анализируется один или несколько главных факторов определяющих транспортное поведение [2]. В работе предложена методика выявления зависимости величины пассажиропотоков на метрополитене от жилой площади зданий, как основного влияющего фактора. Такой анализ возможен для метрополитена, т.к. он использует обособленные пути движения, в отличие от наземных видов транспорта, которые совместно эксплуатируют УДС. Такая зависимость не учитывает направление и цель поездки людей, что сужает возможность прогнозирования до самого факта поездки. Плюс метода – использование только фактических данных (число поездок и площадь зданий в радиусе влияния метро).

Для установления зависимости между развитием территории и пассажиропотоком метро использовалась независимая переменная – жилая площадь зданий в радиусе шаговой доступности; зависимой переменной являлся пассажиропоток метро. Исходные данные:

1. *Площадь домов.*

2. *Пассажиропоток метрополитена* с 1986 по 2016 годы, которые предоставлены МУП «Новосибирский метрополитен».

3. *Радиус шаговой доступности* принят исходя из средней величины скорости движения 2,9 км/ч: 10 мин – 0–480 м; 20 мин – 480–960 м.

4. *Временной период* принят с 2005 по 2016 год, т.к. до 2004 года учет числа поездок льготных категорий граждан производился не по факту (рисунок 1).

На оценочном интервале с 2005 по 2016 год можно предположить линейную зависимость, что согласуется с логическими соображениями о природе и характере исследуемых связей.

Полученные линейные функции с достаточной достоверностью описывают зависимость между жилой площадью зданий и пассажиропотоком метро, т.к. коэффициенты корреляции (r_{xy}) имеют значение выше 0,75 (таблица 1). Коэффициенты уравнений регрессии являются значимыми.

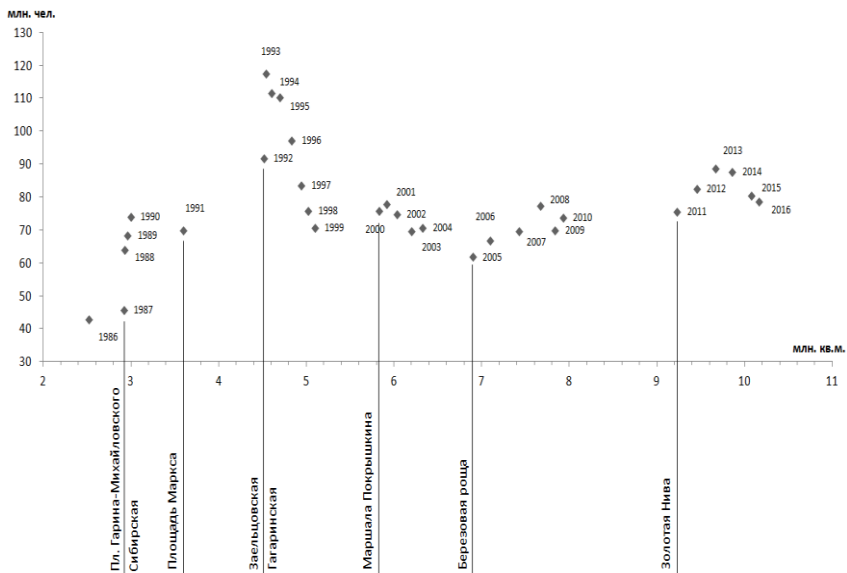


Рисунок 1 – График зависимости жилой площади зданий в радиусе 0–960 м (ось абсциссе) и пассажиропотока за год (ось ординат) с отметкой вводимых станций

Регрессионная зависимость

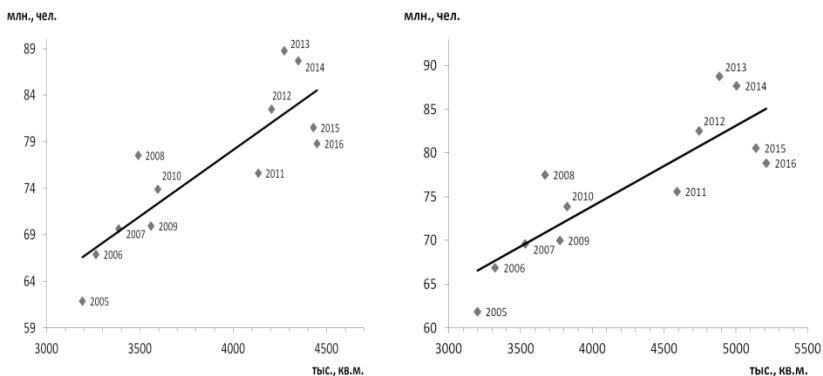


Рисунок 2 – Диаграммы рассеяния с графиком линейной регрессии для радиусов шаговой доступности от станции метрополитена 0–480 м (1), 480–960 м (2)

Таблица 1 – Результаты регрессионного анализа

Радиус шаговой доступности, м	Коэффициенты			Уравнения регрессии
	Корреляции	Детерминации	Эластичности	
0–480 (10 мин)	0,848	0,72	0,726	$y_1(x) = 1,3 \cdot 10^7 + 8,7 \cdot x$
480–960 (20 мин)	0,848	0,719	0,512	$y_2(x) = 1,5 \cdot 10^7 + 3,6 \cdot x$
0–960 (сумма)	0,848	0,719	0,596	$y_3(x) = 30,7 \cdot 10^7 + 4,9 \cdot x$

Рассмотрим физический смысл коэффициентов b_0 и b_1 в уравнении: $y(x) = b_0 + b_1 x$.

1. Коэффициент b_0 дает прогнозируемое значение переменной Y (пассажиропоток) при $X = 0$ (жилая площадь зданий в радиусе влияния метро). Это значение в данной ситуации не имеет физического смысла.

2. Коэффициент b_1 показывает изменение среднего значения пассажиропотока при изменении жилой площади зданий в радиусе метро на 1 квадратный метр. Зная уменьшение коэффициента b_1 в зависимости от удаления от станции метрополитена, определена зона влияния метро (таблица 2).

Таблица 2 – Зона влияния метрополитена

Радиус шаговой доступности, м	Время пешей доступности при скорости 2,9 км/ч, мин	Коэффициент b_1	Рост пассажиропотока при увеличении площади на 1 м ² , чел.	Уменьшение числа пассажиров в зависимости от удаленности станции метро, %
0–480	10	8,725	8	100
480–960	20	3,596	3	41
960–1300	27	0	0	0

Полученные данные подтверждают гипотезу, что люди выбирают вид общественного транспорта исходя из накладных расходов на поездку (времени подхода к транспорту). При средней скорости ходьбы (2,9 км/ч) самая удаленная точка (1300 м) находится в 27 минутах. Если же рассмотреть наиболее подвижную часть населения со скоро-

стью ходьбы 4,1 км/ч, то время составит 19 минут. Основная масса пассажиров (70,8 %) проживает в пределах 10 мин пешей доступности, а оставшиеся 29,2 % в 10–27 мин.

Исследованиями ЦНИИПГрадостроительства установлено, что подавляющая часть пассажиров, направляющихся к станции пешком (98 %), проживает не далее 15 мин ходьбы от нее в радиусе 0–1200 м, из них 80 % в 10 мин пешей доступности [5]. Расхождение в максимальной временной удаленности связаны с тем, что скорость пешего движения в исследовании ЦНИИПГграда принималась 4,8 км/ч.

Натурное исследование, проведенное в 2016–2017 гг. методом опроса на «Московском центральном кольце» (МЦК) показывает, что из числа пассажиров, добирающихся пешком, 88,7 % пришли из радиуса 0–1 251 м. При этом пассажиропоток МЦК на 41,3 % состоит из жителей, проживающих в шаговой доступности станций. Разница обусловлена наличием подвозящего транспорта и созданием мультимодальных узлов из станций МЦК, где можно осуществить пересадку с метрополитена, городского наземного транспорта, железнодорожного транспорта и индивидуального транспорта [6].

Анализ периода до 2005 года

Как было сказано ранее, до 2005 года количество поездок льготных категорий граждан рассчитывалось исходя из 30 поездок в месяц на одного льготника, в соответствии с инструкциями по составлению государственной статистической отчетности по автомобильному, трамвайному и троллейбусному транспорту. Согласно рассчитанной регрессионной зависимости число поездок на одного жителя в месяц после 2005 года, когда учитывалась каждая поездка, составляет 12–16 при жилищной обеспеченности 18–24 кв.м./чел. Зная количество льготных поездок на метро, была сделана корректировка значений пассажиропотока до 2005 года (рисунок 3).

После корректировки большее количество точек оказалось вблизи регрессионной прямой, но временной промежуток с 1988 по 1997 год по-прежнему существенно отстоит от регрессионной прямой, что говорит о влиянии дополнительных факторов. В этом промежутке происходил процесс изменения социально-экономических отношений, что могло вызвать единовременное изменение транспортного поведения в пользу метро как наиболее надежного и скоростного транспорта. Также возможно наличие дополнительных, не учтен-

ных моментов в подсчете пассажиропотока. Для временного интервала 1998–2016 гг. был сделан регрессионный анализ (рисунок 4).

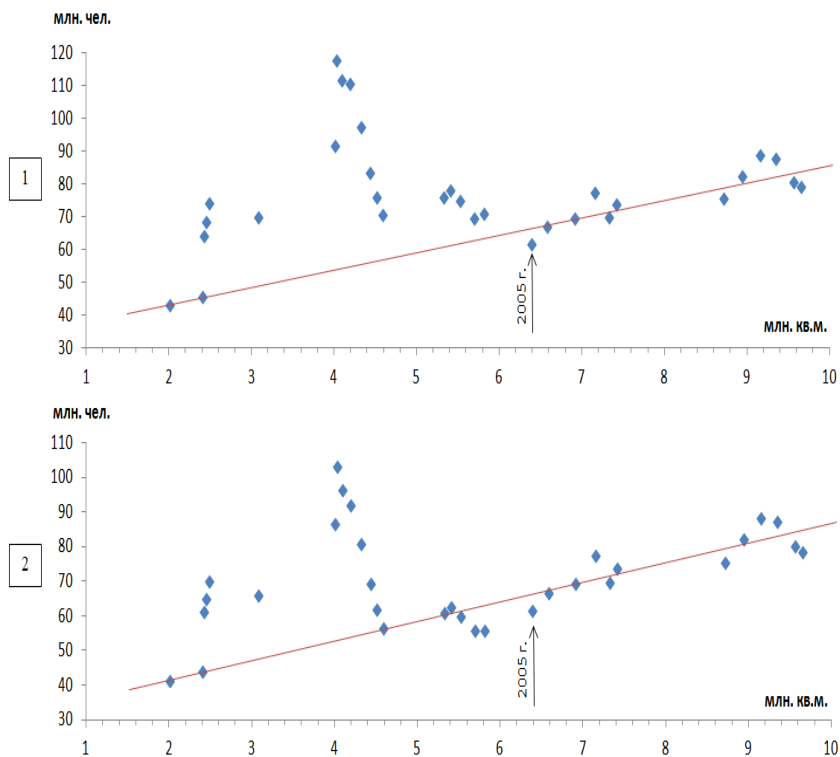


Рисунок 3 – Диаграммы рассеяния до (1) и после (2) корректировки количества льготных пассажиров с графиком регрессионной зависимости определенным на временном промежутке 2005–2016 гг. Радиус оценки жилой площади зданий 0–960 м

Расчет показывает наличие тесной взаимосвязи между величиной жилой площади зданий и пассажиропотоком метро (таблица 3). Уравнение и его коэффициенты являются значимыми.

Значение коэффициента корреляции выше 0,75 свидетельствует о наличии линейной зависимости между пассажиропотоком метро и жилой площадью зданий на интервале 1998–2016 гг. Данные диа-

граммы рассеяния не выходят за доверительный интервал собственных значений функции (рисунок 5), что говорит о значимости расчета в целом.

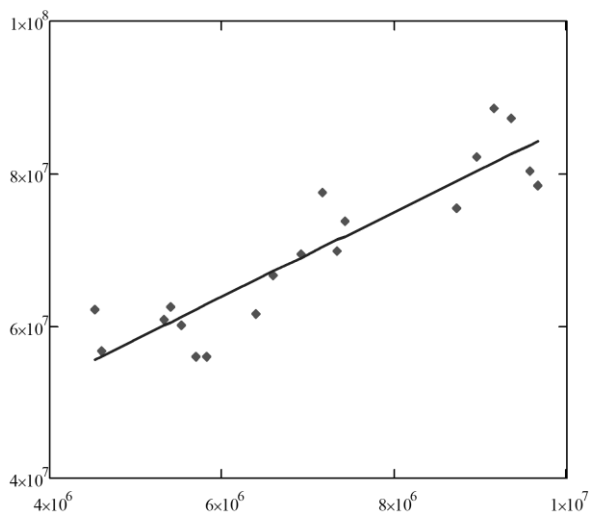


Рисунок 4 – Диаграмма рассеяния отражающая зависимость между жилой площадью зданий (ось абсцисс, кв.м.) и пассажиропотоком метро (ось ординат, чел.) с графиком регрессии для радиуса 0–960 м

Таблица 3 – Результаты регрессионного анализа для интервала 1998–2016 гг. в радиусе 0–960 м

Коэффициенты			Уравнения регрессии
Корреляции	Детерминации	Эластичности	
0,91	0,83	0,726	$y_1(x) = 3,04 \cdot 10^7 + 5,58 \cdot x$

Таким образом, корректировка числа льготных пассажиров позволила описать линейной функцией большой период работы метрополитена. Посылка корректировки основана на завышенности числа поездок льготными пассажирами, но можно также предположить, что наличие льготы смещает график регрессии к большим значениям, не изменяя линейности функции.

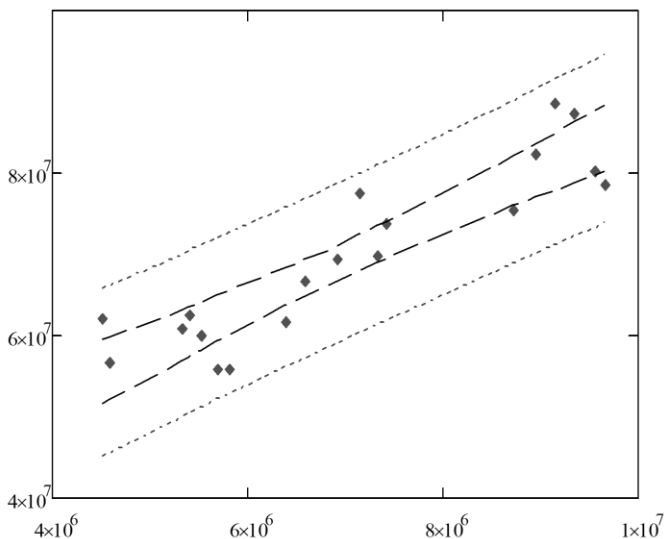


Рисунок 5 – Диаграмма рассеяния с доверительным интервалом функции (пунктир) и доверительным интервалом собственных значений функции (точки) для радиуса 0–960 м

Организация подвоза к станциям метрополитена

Предел дальности пешеходного подхода к станциям определяется как расстояние, преодолеваемое пешком или с поездкой на нескоростном транспорте с одинаковой затратой времени [1]. Подвоз тождественен пешему подходу при обеспечении комфортных условий: бесплатная пересадка на метро, приоритет движения подвозящего транспорта по отношению к личному авто (рисунок 6).

Радиус подвоза определен в соответствии с техническими возможностями наземного транспорта и регрессионной зависимости по формуле

$$R = t v,$$

где t – временная изохрона доступности станций на автобусном транспорте, 10 мин;

v – скорость движения автобусного транспорта, 15 км/ч;

$R = 10 \text{ мин} * 15 \text{ км/ч} = 2500 \text{ м}$.

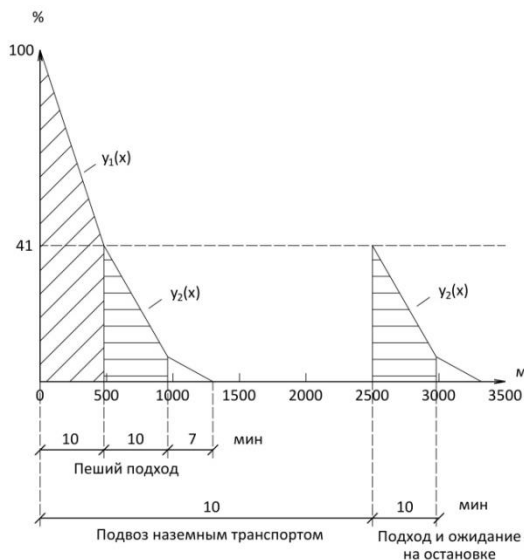


Рисунок 6 – Пассажиропоток метрополитена определяемый функциональными зависимостями $y(x_1)$ и $y(x_2)$ при шаговой доступности и подвозе на наземном транспорте

Данный расчет позволяет выделить районы города, потенциально подходящие для организации подвоза, что позволит увеличить пассажиропоток приблизительно на 20 млн чел. в год (рисунок 7).

Закключение: установлено, что жилая площадь зданий формирует пассажиропоток метро на 72 %. Это подтверждает высокую градостроительную ценность территорий в зоне пешеходной доступности станций. Выявленные в ходе регрессионного анализа зависимости, для радиусов пешего подхода – 0–480 м, 480–960 м и радиуса подвоза наземным транспортом – 0–2500 м, позволяют комплексно подойти к разработке проектов планировки и застройки в зоне влияния станций и организации маршрутов подвозящего транспорта. Реализация данных мероприятий позволит сократить затраты времени населением на передвижения, уменьшить транспортную усталость, замедлить экстенсивный рост города, уменьшить нагрузку на УДС от автомобильного транспорта, и его влияние на экологию за счет снижения шума и загрязнения.

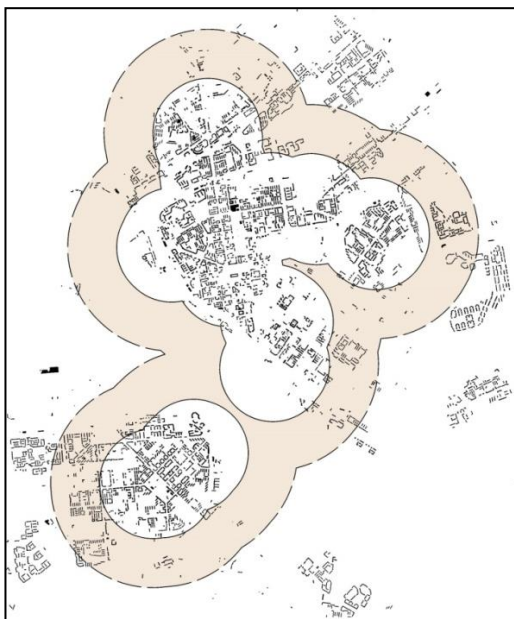


Рисунок 7 – Радиус подвоза жителей к метрополитену

С финансовой точки зрения взаимосвязь жилой площади зданий с пассажиропотоком означает, что частные инвестиции в развитие застроенной территории города косвенно финансируют развитие метрополитена и общественного транспорта в целом. Следовательно, частные инвестиции, при правовом регулировании земельных отношений со стороны муниципальной власти, являются альтернативным источником развития инфраструктуры, дополняющим государственное финансирование в условиях дефицита бюджетных средств.

Литература

1. Вукан Р. Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни / пер. с англ. А. Калинина под научн. ред. М. Блинкина. – М: Территория будущего, 2011. – 413 с.
2. Ваксман, С.А. Социально-экономические проблемы прогнозирования развития систем массового пассажирского транспорта в городах / С.А. Ваксман. – Екатеринбург: изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 1996. – 289 с.
3. Воскобойников, Ю.Е. Построение регрессионных моделей в пакете MathCAD: учеб. пособие / Ю.Е. Воскобойников; Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2009. – 220 с.

4. Бунеев, В.М. Пассажирский транспорт Новосибирска: Проблемы повышения эффективности и развития / В.М. Бунеев, В.И. Новоселов. – Новосибирск: НГАВТ, 1999. – 268 с.

5. Александр, К.Э. Скоростной рельсовый транспорт в градостроительстве / К.Э. Александр, Н.А. Руднева. – М.: Стройиздат, 1985. – 140 с.

6. Власов, Д.Н. Смена парадигмы транспортного поведения в крупнейших городах России. [Электронный ресурс] / International Conference on Sustainable Cities (ICSC). Режим доступа: <http://scconference.org/admin/ckfinder/userfiles/files/2017/3%20%D0%92%D0%9B%D0%90%D0%A1%D0%9E%D0%92%20%D0%94%D0%95%D0%9D%D0%98%D0%A1.pdf> (дата обращения 05.06.2017).

Поступила 24 декабря 2017 г.

УДК 656.022

Предложение по классификации скоростных рельсовых видов пассажирского транспорта в городах России

С.А. Ваксман, А.А. Цариков

Развитие скоростного пассажирского транспорта одна из важнейших задач для успешного функционирования транспортной системы любого крупного города. Данную проблему ученые и специалисты Советского Союза еще в начале 60-х годов XX столетия. В этой связи любой генеральный план или КТС разрабатываемый для крупных и крупнейших городов СССР обязательно содержал предложения по развитию скоростных видов общественного транспорта.

The high-speed passenger transport development is one of the most important tasks for the successful functioning of any large or largest city transport system. This problem was known by scientists and experts of the Soviet Union in the early 60-ies of XX century. In this respect, any General plan or the CTS developed for large and largest cities of the Soviet Union will necessarily have that, or another solution for development of high-speed public transport.

Итогом планирования ТСГ советской эпохи стало появление в городах 16 метрополитенов и 3 скоростных трамвайных систем. Изначально при планировании метрополитенов в городах СССР, прогнозировалась загрузка линий в пиковый период в размере 20–45 тысяч пассажиров в час «пик» в одном направлении. Анализ существующих систем метрополитена в городах постсоветского пространства показал, что загрузка линий в часы пик значительно отличается и составляет от 2 до 60 тысяч пассажиров в час. Вместе с