

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ МЕТРОПОЛИТЕНА В МЕГАПОЛИСЕ

Р.Р. Валиев (Санкт-Петербург)

Предпосылки к созданию модели

В условиях современного развития мегаполисов всё большую роль начинает играть общественный транспорт, эффективная организация которого способна решить большинство транспортных проблем. Метрополитен стал одним из наиболее рациональных путей решения вопроса передвижения населения по территории мегаполиса и сегодня является одним из ключевых видов городского общественного транспорта. Объём перевозки петербургского метрополитена сегодня стремится к 800 млн пассажиров в год. Всего среди всех городских видов пассажирских перевозок объём использования метрополитена составляет примерно 40%, что становится довольно важным показателем. [6]

Исключительная важность модернизации сети метрополитена и обеспечения пассажиров максимально быстрыми и комфортными условиями перевозки ведёт к тому, что появляется необходимость грамотного прогноза перспектив. Метрополитен должен развиваться, и план развития должен разрабатываться с максимальной ответственностью и пониманием возможности и целесообразности тех или иных нововведений.

Проблема

Сегодня для построения успешной сети общественного транспорта необходимо учитывать факторы становления города и удовлетворения потребностей населения. Была поставлена основная цель - исследовать возможности взаимодействия сети метрополитена с общей транспортной системой города и спрогнозировать векторы дальнейшего развития на основании взаимодействия различных логистических систем внутри мегаполиса.

Для максимально эффективной логистики пассажиропотока в транспортной сети городского метрополитена с учётом всех особенностей городской мобильности необходимо также принимать во внимание влияние наземной транспортной инфраструктуры. Сеть метрополитена не является изолированной, но нуждается в проработанной системе наземного транспорта, так как во многом зависит от неё. Более того, даже проектирование местоположения новых станций учитывает остановки наземных видов транспорта и их загруженность. Кроме того, загруженность дорог и наличие пробок негативно сказывается и на метрополитене. Связующий узел между наземным транспортом и сетью метро можно видеть на схеме, представленной на рис. 1) при этом если пассажиры будут задерживаться в заторах на этапе пути к станции, это приведёт к сбоям в работе метрополитена. [2]

Чтобы понимать взаимодействие сети метрополитена с окружающей средой, можно построить блок-схему, описывающую движение пассажира, начиная от вида пути к станции метро, заканчивая пересадкой на другой вид транспорта. По этой схеме гражданин должен добраться за определённое время до станции метро. Сделать это он может либо пешком, либо одним из транспортных средств, относящихся к наземному пассажирскому транспорту. Личный автомобиль среди видов этого транспорта не должен находиться по причине ненадобности: в случае наличия личного транспортного средства гражданин предпочтёт добираться до точки назначения с его помощью. Затем пассажир входит в систему метрополитена, и в этой точке, согласно правилам безопасности, принятым на территории метрополитена, сотрудник службы безопасности вправе потребовать у пассажира пройти через металлодетекторную рамку и, при необходимости, провести ручную кладь через рентгеноскоп. Пассажир вправе отказаться от этой процедуры, но в этом случае обязан немедленно покинуть метрополитен. Если процедура ручного контроля успешно пройдена или не потребовалась, пассажир добирается до конечной станции своего пути. В этом промежутке пассажиру может понадобиться перейти на пересадочном узле (в зависимости от выбранного пути пассажир может не переходить на другую линию или переходить

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

более одного раза). Затем, по прибытии на конечную станцию, он либо проследует до точки назначения пешком, либо пересеживается на наземный транспорт.[3]

Сама схема выглядит следующим образом:

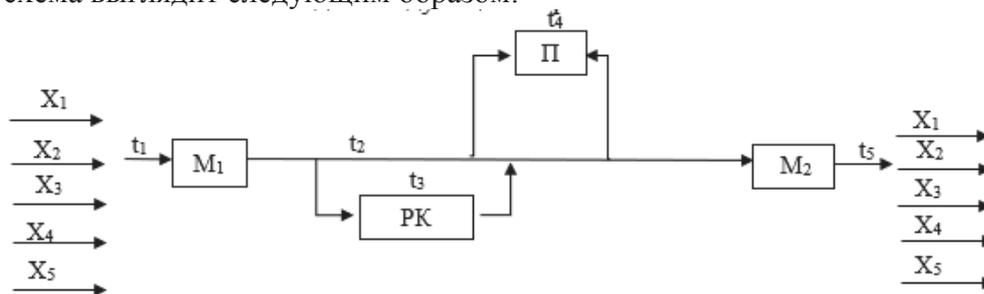


Рис. 1 Схема движения пассажира метрополитена в транспортной системе

Где: x – средства передвижения до и от станции метро (x_1 – пешком, x_2 – автобус, x_3 – троллейбус, x_4 – трамвай, x_5 – поезд); M – станция метро (M_1 – начальная станция, M_2 – конечная станция); Π – пересадочный узел между линиями метрополитена (может встречаться не единожды); РК – зона ручного контроля; t – время, затраченное на определённый участок пути (t_1 – время на дорогу до станции метро на том или ином транспортном средстве, t_2 – время на перемещение от начальной станции до конечной, t_3 – время на прохождение ручного контроля (по требованию сотрудника службы безопасности, t_4 – время на прохождение перехода между линиями, t_5 – время, затрачиваемое на перемещение от конечной станции метро до точки назначения).

Из описанной базовой схемы видно, что на общее время передвижения влияет не какой-то отдельный вид транспорта (подземный/наземный), но комплексные результаты использования различных способов передвижения. Соответственно, при прогнозировании развития системы метрополитена целесообразно и необходимо учитывать условия наземного городского транспорта; сочетать логистический подход и урбанистические техники решения проблемы пассажирских перевозок. Для комплексного подхода к достижению поставленной цели был выбран подход математического моделирования с перспективой дальнейшего углубления в прогнозирование путём имитационного моделирования в среде AnyLogic.

Моделирование

Прежде чем пытаться построить гравитационную модель и получить определённый результат, следует разобраться в назначении данной модели и сферах её применения. Гравитационная модель сама по себе довольно многогранна и имеет множество видов, но чаще всего используется в экономике (в большей мере в сфере торговли), урбанистике (поиск точек концентрации населения, изучение мест рекреационного или культурного обслуживания и т.п.), но очень часто (и крайне важно для данного исследования) эта модель используется в логистике. Достаточно перспективно использование этой модели в складской логистике для определения центра гравитации при поиске размещения центрального склада, снабжающего несколько складов розничной торговли. При этом учитывается местоположение меньших по уровню складов, а также объёмы перевозимых товаров.[5]

Аналогичным образом эта модель используется и в транспортной логистике, связывая воедино наземные остановки и проектируемые станции метро. Станция в модели оказывается аналогичной центральному складу в «складском» варианте (находясь в максимально посещаемом месте), остановки сходны складам розничной торговли, а в роли «перевозимого товара» выступают непосредственно участники транспортной сети – жители города. Далее приведены формулы, актуальные для решения вопроса о размещении станции методом гравитационной модели:

$$C_x = \frac{\sum_i d_{ix} * w_i}{\sum_i w_i}, \quad (1)$$

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

$$C_y = \frac{\sum_i d_{i,y} * w_i}{\sum_i w_i}; \quad (2)$$

где C_x – абсцисса центра гравитации, C_y – ордината центра гравитации, $d_{i,x}$ – абсцисса остановки, $d_{i,y}$ – ордината остановки, w_i – объём дневного пассажиропотока.

Следует заметить, что показатель результата гравитационной модели является средней взвешенной величиной. На первом шаге решения поставленной задачи определяются абсцисса и ордината исходных точек. Это достигается путём наложения координатной сетки с шагом определённой величины. [4]

Выполним моделирование на практике. Для начала необходимо выбрать район, который необходимо оснастить станцией метрополитена. В Главе 1 были перечислены проблемные участки города – соответственно, мной был выбран район Полюстрово (восточнее станции метро «Выборгская») ввиду большой концентрации жителей и отсутствия станций в пешей доступности. Обрезав интересующий участок карты, следует отметить точки остановок наземного транспорта (при выполнении работы были выбраны автобусные остановки) На рис. 2 можно ознакомиться с исходными данными (все данные, представленные на этом этапе, абсолютно реальны и могут использоваться при действительном вычислении):

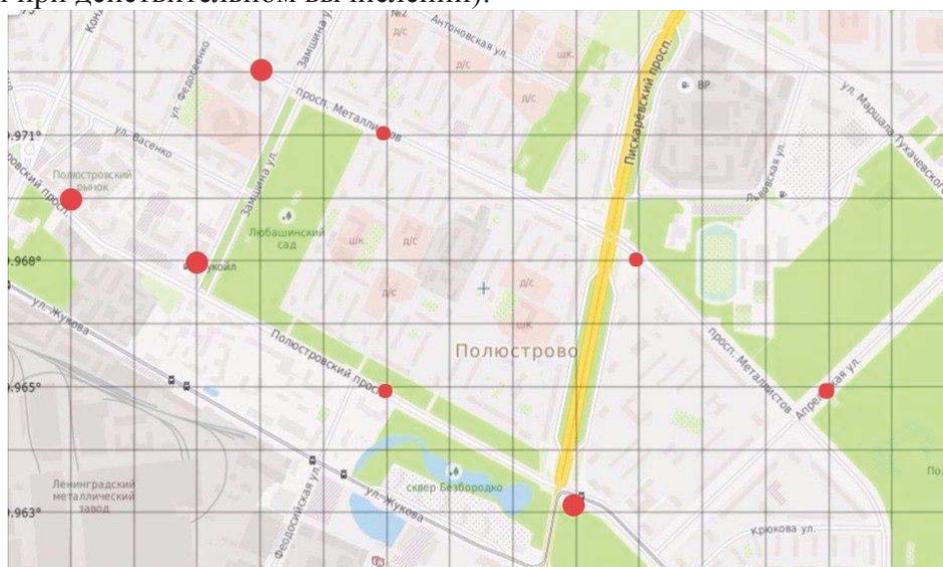


Рис. 2. Карта района Полюстрово с наложенной координатной сеткой и отмеченными точками автобусных остановок

На основе рисунка необходимо отметить координаты восьми точек, вычислив их по наложенной координатной сетке. Каждая точка для удобства сочетает в себе 2-3 остановки по обе стороны от проезжей части. Считать точки рационально по часовой стрелке, начиная с верхней точки. Приблизительный объём дневного пассажиропотока за неимением официальных данных был подобран теоретически и выбран следующий: $w_1=3000$, $w_2=1000$, $w_3=1000$, $w_4=2000$, $w_5=3000$, $w_6=1000$, $w_7=4000$, $w_8=3000$.

Началом координат является крайняя левая нижняя точка. Таким образом точка 1 имеет координаты (4;8); (6;7); (10;5); (13;3); (9;1); (6;3); (3;5); (1;6).

Подставив значения в формулы, имеем следующее (для удобства вычислений формулы сразу сокращены на 1000:

$$C_x = \frac{4*3+6+10+13*2+9*3+6+3*4+3}{3+1+1+2+3+1+4+3} = \frac{102}{18} = 5.7 \approx 6 \quad (3)$$

$$C_y = \frac{8*3+7+5+3*2+3+3+5*4+6*3}{3+1+1+2+3+1+4+3} = \frac{86}{18} = 4.7 \approx 5 \quad (4)$$

Согласно приведённым вычислениям, координаты искомой точки равны (6;5). Отметим их на карте:

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

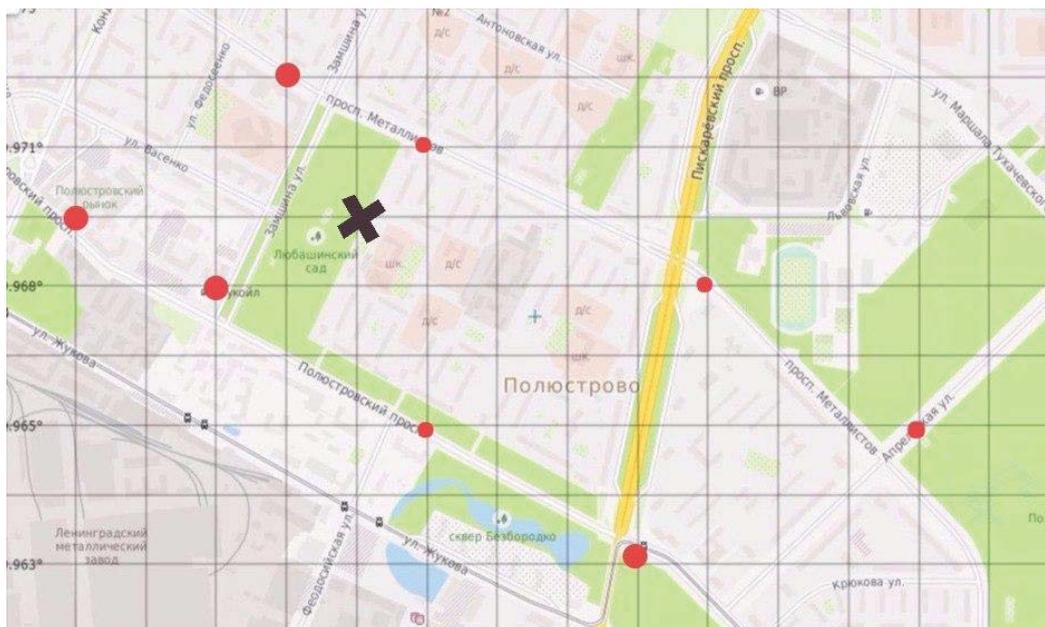


Рис. 3 Карта района Полюстрово с вычисленной точкой рационального размещения станции метро

Что касается найденной точки, станция метро должна располагаться в радиусе одного шага координатной сетки в любом направлении (это диктует погрешность изначальной установки точек, отображающих местоположение остановок). В пользу результата говорит также то, что рядом с точкой находится Любашинский сад – станция метро здесь будет удовлетворять растущей городской мобильности (помимо места жительства и предполагаемого места приложения труда рядом с метро присутствует рекреационный объект). Назвать станцию возможно по названию района, который на протяжении уже долгого времени в ней нуждается – «Полюстрово».

Развитие и выводы

В дальнейшем прогнозирование развития системы метрополитена необходимо перенести на базу программного обеспечения Anylogic. Это позволит смоделировать несколько сценариев дальнейшего развития, при этом будет вовлечено максимально количество интересующих параметров, влияющих на результаты симуляции. По итогу уже проделанной работы можно смело утверждать, что любая транспортная сеть, будь то сеть метро или система трамвайного транспорта, является частью большой городской транспортной системы, взаимодействуя с другими элементами. В предыдущем подпункте на практическом примере было показано влияние автобусной сети на метрополитен. Следует уточнить, что для оптимальной работы метро большую роль играет также обстановка на дорогах, близлежащих к станции метрополитена. Попутно решая проблему пробок на дорогах, очищается путь для наземного общественного транспорта, облегчая доступ к станциям, поэтому, прежде чем приступать к организации общественного транспорта, следует разобраться с трафиком движения автомобилей и прочего транспорта.

Используемая система решает стандартную задачу модернизации и расширения системы общественного транспорта в городской среде. Тем не менее, описанный метод вычисления рационального местоположения станции в рамках района сегодня используется только в складской логистике; для сферы городских пассажирских перевозок данный подход является нетривиальным и новым.

Литература

1. Agassiant A. A, Strelnikov A.I. Rational Development of urban transportation systems, with due consideration given to environmental protection. — М., 1989. — 97 p.
2. Brebbia C.A., Miralles-i-Garcia J.L. Urban transport XXI / C.A. Brebbia, J.L. Miralles-i-Garcia // WIT Transactions on The Built Environment, 2015 – 732с.
3. Ембулаев В.Н. Теоретические основы и методы управления транспортной системой крупного города. Владивосток: Дальнаука, 2004. - 212 с.

Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

4. Швецов, В. И. Математическое моделирование транспортных потоков // В.И. Швецов – Автоматика и телемеханика. – 2003. – № 11.
5. Шульженко Т.Г. Применение концептуальных положений логистики в обеспечении качества услуг системы общественного пассажирского транспорта крупного города / Т.Г. Шульженко // «Логистический потенциал Санкт-Петербурга в формировании инновационной экономики», сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции. М., 2016. – 293 с.
6. Постановление №552 «О государственной программе Санкт-Петербурга «Развитие транспортной системы Санкт-Петербурга» на 2015-2020 годы» Правительства Санкт-Петербурга(13 августа 2015)