

13. Гидрометеорологические условия Азовского и Черного побережий Краснодарского края, ГОИН: отчет о НИР. — М., 1996.

14. M. Sc. Hany Goma Ibrahim Ahmed Wave Interaction with Vertical Slotted Walls as a Permeable Breakwater / Dissertation. — Wuppertal, 2011.

15. ВСП 33-03-07 Инструкция по проектированию откосных и сквозных ограждающих сооружений и специальных подводных стендов. — М.: МО РФ, 2008.

УДК: 656; 004.8, 007.5, 51-7, 510.67

С. А. Селиверстов,
науч. сотр.;

Я. А. Селиверстов,
науч. сотр.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ МЕГАПОЛИСА С ВВОДОМ НОВЫХ ВИДОВ ВОДНОГО ВНУТРИГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

MODELING OF TRAFFIC FLOWS MEGAPOLIS WITH INTRODUCTION OF NEW WATER TYPES OF PASSENGER TRANSPORT INTERCITY

Обоснована актуальность развития внутригородских транспортных процессов и создание объектов транспортной инфраструктуры, ускоряющих внедрение и использование новых видов транспорта. Проведено исследование математических методов анализа транспортных потоков. Осуществлен переход от поведенческих принципов Вардроп к целевой функции управления процессами мобильности, базирующейся на целевых ориентирах пользователя и целевых ориентирах городской транспортной системы. Применительно к аппаратно-программному обеспечению транспортного планирования рассмотрена трилинейная модель EVA. Развитие новых видов транспорта рассмотрено на примере ввода «Приморской линии» внутреннего водного пассажирского транспорта г. Санкт-Петербурга. Осуществляется разработка информационно-логической модели, выполняются моделирование и оценка процессов перераспределения транспортных потоков на участке городской транспортной сети, даны рекомендации по транспортному обслуживанию, прилагающейся к «Приморской линии» районов.

Justification of the relevance of intracity transport processes and the creation of transport infrastructure accelerating the use of new modes of transport. Analyzed of the mathematical methods development for analyzing traffic flows. The transition from the behavioral principles J. Wardrop to target management processes of mobility, based on the user's targets and targets the urban transport system. Relation to hardware and software for transport planning considered trilinear model EVA. Development of new transport modes accelerating intercity transport processes considered as an example of input «Primorskaya line» inland waterway passenger transport in St. Petersburg, developed information and logical, modeled and evaluated redistribution of traffic flows in the area of urban transport network. Based on the simulation results are given recommendations on transport services of the area, adjacent to the «Primorskaya line».

Ключевые слова: городская транспортная система, внутренний водный пассажирский транспорт, транспортное моделирование, методы оценки эффективности транспортных коммуникаций, прогнозирование транспортных потоков, матрицы корреспонденций, энтропийная модель, трилинейная модель, модель EVA.

Key words: megalopolis transport system, inland water passenger transport, transport modeling, efficiency evaluation methods of transport communications, forecasting of transport traffic, matrixes of correspondence, entropy model, trilinear model, EVA model.

Введение

Развитие структуры и скорости изменения социально-экономических процессов в мегаполисах [1], таких как рост городского населения, повышение качества жизни и личного дохода стали причиной стремительного увеличения общего числа пассажирских транспортных средств (ТрС) на городской транспортной сети (ГТс) и их разнообразия, что положительно отразилось на повышении качества индивидуальных перевозок. Схожие процессы затронули сектор городского жилищного, коммерческого и иного инфраструктурного строительства и скорости внутригородского товарооборота, с одной стороны, и явились причиной снижения пропускных способностей ГТс [2] и ухудшения городских экологических показателей — с другой, а отсутствие планировочного единства и взаимодействия отдельных видов и звеньев городской транспортной системы (ГТС) привели к значительным перепробегам транспорта и чрезмерным затратам времени на поездки. Следствием стало снижение показателей эффективности ГТС. Ухудшение экономики города и рейтинга качества городской среды. Таким образом, функциональные сферы целевой интеграции работоспособного транспортного процесса [3] посредством разветвленной ГТс пронизывают и скрепляют всю социально-экономическую, технологическую и культурную систему города, определяя его скорость и масштабы развития.

Для стимулирования таких процессов развития вводятся объекты новой транспортной инфраструктуры, включая запуск новых видов внутригородских и пригородных наземных и водных (маршрутное водное такси (аквабус)) пассажирских перевозок. Поэтому в данной ситуации особую актуальность приобретает вопрос: *какое влияние окажет работа того или иного маршрута внутреннего водного или наземного пассажирского транспорта на транспортную ситуацию улично-дорожной сети (УДС) или станций метрополитена и каковы особенности новых транспортных потоков, формирующихся на водных транспортных сетях, методы их оценки, анализа и моделирования.*

Решение этих вопросов предлагается рассмотреть на примере анализа и моделирования процесса перераспределения транспортных потоков (ТП) на ГТс Санкт-Петербурга при введении нового вида внутреннего водного пассажирского транспорта (ВВПТ).

Основная часть

Формально решение проблемы анализа ТП на ГТс, сформированного структурой функционирования его участников в зонах стоп-сигнала, впервые было предложено В. Ф. Адамсом, а полученное им выражение для средней задержки пешехода, вызванной движением ТП на главном шоссе, в котором последовательные интервалы задержки во времени являются независимыми случайными величинами с отрицательным экспоненциальным распределением (ОЭР) в измененном виде, позже использовал Ф. Гарвуд, рассматривая остановки ТрС на регулируемом перекрестке, частично управляемом по основному потоку. Математические модели, связывающие объем и скорость ТП, исследовал Б. Д. Гриншилдс, предложив фундаментальный метод оценки его производительности. Детально задачу поведения дорожного трафика, описываемую ОЭР, исследовали М. С. Рафф и Дж. К. Таннер, а вычисление времени задержки, приходящейся на одного пешехода, используя комбинаторные аргументы, предложил А. Дж. Мэйн. Опираясь на методы теории восстановления, свой вклад в решение проблем регулирования трафика внесли У. С. Джуэл, Г. Х. Вайсс и А. А. Мараудин.

Проведя аналогию с волновой теорией движения, теорией очередей и научными приложениями исследований дорожного трафика, разрабатывают первую макроскопическую модель однополосного транспортного потока М. Дж. Лайтхилл, Г. Б. Уизем (Уитем), и П. И. Ричардс, развитие которой прослеживается в трудах Г. Ф. Невелла [4], Б. С. Кернера [5], Т. Нагатани [6].

Более подробно генеалогия развития моделей ТП по четырем направлениям: фундаментальные связи, микроскопическое, мезоскопическое и макроскопическое направления, была исследована в работе Фемке ван Вагенинген-Кессельс, Ханс ван Линт, Кеес Вуйк, Серге Ноогендоорн (2014) [7]. Позднее Я. А. Селиверстов [8] разработал модель функционально-полного операторного

базиса системы управления ГТС, опирающейся на целевые ориентиры пользователя и ГТС, укладывая в целевые ориентиры пользователя первый принцип Вардропы и дополняя его принципом безопасного следования, а в целевые ориентиры ГТС — второй принцип Вардропы, дополняя его принципом надежного функционирования. Таким образом, обобщенный поведенческий базис обретает теоретическую завершенность, позволяя ставить задачи интеллектуализации систем управления транспортными процессами [9] – [11].

Вместе с тем развитие непрерывных систем наблюдения фиксирования и контроля транспортных процессов на ГТС актуализировало существующие методы автоматической группировки [12], позволив формализовать вопросы самоорганизации транспортных процессов и решить задачи построения бесконфликтных транспортных систем [13], [14]. В [15] рассмотрены методы восстановления и обновления матриц корреспонденций и дан их краткий обзор. Позднее в [16] был предложен алгоритм расчета матриц пассажирских корреспонденций пригородного сообщения на основании емкостей по отправлению и прибытию пассажиров на остановочные пункты, а в [17] приведена методика определения сбалансированной емкости транспортных районов центральной части города по прибытию и отправлению автомобилей за счет включения в расчет количества автомобилей, осуществляющих движение по транспортной сети; в [18] рассмотрены методы построения матриц корреспонденций и алгоритмы калибровки, программная реализация которых легла в основу модели EVA, получившей практическое применение в [19]. Рассмотрев анализ предметной области, перейдем к постановке задачи настоящего исследования пассажирских перевозок.

В целях развития транспортной инфраструктуры г. Санкт-Петербурга и полноценного использования водного пространства реки Невы внедрение мирового опыта в области водных внутригородских пассажирских перевозок является в особой степени актуальным.

Целью исследования является анализ провозной способности маршрута «Приморской линии» ВВПТ г. Санкт-Петербурга, разработка ее информационно-логической модели и оценка ее эффективности. Изложение уместно начать с формального описания трилинейной модели (EVA), являющейся ядром программно-аппаратных систем моделирования городских транспортных процессов.

Трилинейная модель EVA, рассмотренная в [20], одновременно дает формальное представление процессов создания, распределения и разделения ТП. В ней объем ТП из мест района отправления в места района прибытия рассчитывается на основе демографических и структурных показателей, а также степени подвижности, известной в результате статистических исследований характера передвижений населения. Расчет выполняется отдельно для каждого слоя спроса, и, соответственно, для каждой пары действий с ее основными группами.

Группы «место отправления – место прибытия» — это дезагрегированные, однородные по поведению транспортные классы, выведенные из цепочки активностей (последовательности перемещений). Каждое перемещение, направленное на определенное действие, относится к определенным категориям источников (D — дом) и целей (P — работа) и, таким образом, к соответствующей группе «место отправления – место прибытия» ($D — P$). С «создаваемой стороны» к группе «источник — цель» относится как минимум одна базовая группа населения и со «стороны притяжения» как минимум одна величина структуры. Например, к группе «источник — цель» $D — P$ (дом — работа) со стороны источника относится основная базовая группа населения «трудящиеся».

Группы могут быть разделены на подгруппы по дополнительным признакам и использоваться для создания транспортного спроса. Таким образом, процесс классификации городского населения по слоям спроса задается следующим образом: каждой паре «место отправления (i) – место прибытия (j)», отражающей определенный слой спроса $DStr_c$ из множества $DStr_c \in DStr$, оператор классификации f_ψ^d ставит в соответствие свойство структуры $SG_{i(j)s}$ из множества $SG_{i(j)}$, отражающее этот слой спроса:

$$f_\psi^d : DStr_c \rightarrow SG_{i(j)s}. \quad (1)$$

Для каждого слоя спроса и для каждой группы людей, используемой в данном слое, должны быть определены степени подвижности (MR). Степень подвижности группы определяется как среднее количество перемещений в день на человека:

$$MR_{pc} = \frac{\text{Количество произведенных в слое спроса передвижений в группе } p}{\text{Количество людей в группе } p}. \quad (2)$$

На этапе создания транспортного движения из приведенных данных социальной структуры населения и характеристик для всех слоев спроса рассчитывается объем ТП из источника Q_{ic} и объем ТП в цель Z_{jc} или верхние границы $Q_{ic}^{\max}$ и $Z_{jc}^{\max}$ для этих объемов. Метод расчета зависит от того, к какому типу источника-цели относится данная пара действий слоя спроса. Возможны три типа: действие источника — действие на месте зарождения (собственная квартира, собственная работа); действие цели — действие на месте зарождения (собственная квартира, собственная работа); действие источника — действие цели $\neq$ действию на месте зарождения (собственная квартира, собственная работа).

Правила выполнения расчета приведены в таблице. Данная модель опирается на байесовскую вероятность. Постулируется принцип формирования потока: перемещение пользователя h начинается в транспортном районе i , заканчивается в транспортном районе j , при этом используется транспортное средство k .

Создание транспортного движения в модели EVA

1. Модель создания транспортного движения в модели EVA: тип источник – цель 1	
1-й этап	Объем ТП на месте зарождения H : $H_{epc} = MR_{epc} BP_{ep} u_{ers}; H_{ec} = \sum_{p \in P} MR_{epc} BP_{ep} u_{epc}$
2-й этап	Объем ТП из источника $Q, Q_{\max}$: $Q_{ic} = H_{ic}$
3-й этап	Общий объем потоков V : $V_c = \sum_{i=1}^m Q_{ic}; f_c = \frac{V_c}{\sum_{l=1}^n \sum_{s \in S} ER_{lsc} SG_{ls} v_{lsc}}$
4-й этап	Объем ТП в месте назначения $Z, Z_{\max}$: $Z_{jc} = f_c \sum_{s \in S} ER_{jsc} SG_{js} v_{jsc}; Z_{jc} \leq Z_{jc}^{\max} = \sum_{s \in S} ER_{jsc}^{\max} SG_{js} v_{jsc};$ $\hat{Z} = \sum_{s \in S} ER_{jsc}^{\max} SG_{js} v_{jsc}; \underline{Z}_{jc} \hat{Z}_{jc} \leq Z_{jc} \leq \bar{Z}_{jc} \hat{Z}_{jc};$ $Z_{jc}^{pot} = \sum_{s \in S} ER_{jsc} SG_{js} v_{jsc}$
2. Модель создания транспортного движения в модели EVA: тип источник – цель 2	
1-й этап	Объем ТП на месте зарождения H : $H_{epc} = MR_{epc} BP_{ep} u_{epc}; H_{ec} = \sum_{p \in P} MR_{epc} BP_{ep} u_{epc}$
2-й этап	Объем ТП в месте назначения $Z, Z_{\max}$: $Z_{jc} = H_{jc}$
3-й этап	Общий объем потоков V : $V_c = \sum_{j=1}^m Z_{jc}; f_c = \frac{V_c}{\sum_{l=1}^n \sum_{s \in S} ER_{lsc} SG_{ls} v_{lsc}}$

(Окончание)

4-й этап	Объем ТП из источника $Q, Q_{\max}$: $Q_{ic} = f_c \sum_{s \in S} ER_{isc} SG_{is} v_{isc}; \quad Q_{ic} \leq Q_{ic}^{\max} = \sum_{s \in S} ER_{isc}^{\max} SG_{is} v_{isc};$ $\hat{Q} = \sum_{s \in S} ER_{isc}^{\max} SG_{is} v_{isc}; \quad \underline{Q}_{ic} \hat{Q}_{ic} \leq Q_{jc} \leq \bar{Q}_{ic} Q_{ic};$ $Q_{ic}^{pot} = \sum_{s \in S} ER_{isc} SG_{is} v_{isc}$
3. Модель создания транспортного движения в модели EVA: тип источник – цель 3	
1-й этап	Объем ТП на месте зарождения H: $H_{epc} = MR_{epc} BP_{ep} u_{epc}; \quad H_{ec} = \sum_{p \in P} MR_{epc} BP_{ep} u_{epc}$
2-й этап	Общий объем потоков V: $V_c = \sum_{e=1}^m H_{ec}$
3-й этап	Объем ТП из источника $Q, Q_{\max}$: $Q_{ic} = \frac{\sum_{s \in S} ER_{isc} SG_{is} v_{isc}}{\sum_{l=1}^n \sum_{s \in S} ER_{lsc} SG_{ls} v_{lsc}} V_c$ Объем ТП в месте назначения $Z, Z_{\max}$: $Z_{jc} = \frac{\sum_{s \in S} ER_{jsc}^{\max} SG_{js} v_{jsc}}{\sum_{l=1}^n \sum_{s \in S} ER_{lsc} SG_{ls} v_{lsc}} V_c$

Обозначения, используемые в таблице: e — индекс района причины перемещений (район места зарождения); i — индекс района источника перемещений; j — индекс района цели перемещений; s — индекс свойства структуры; p — индекс группы; c — индекс слоя спроса; m — количество районов в области исследования; MR_{epc} — степень подвижности группы p за единицу времени; ER_{isc} — степень создания свойства структуры s за единицу времени; BP_{ep} — количество людей в группе p ; SG — свойство структуры; u_{epc} — доля перемещений, реализованных в области исследования как внутренне транспортное движение; v_{isc} — доля свойств структуры, действительная для внутреннего транспортного движения в области исследования; H_{epc} — объем ТП на месте зарождения для группы p ; H_{ec} — общий объем ТП на месте зарождения; Q_{ic} — объем ТП из источника; Z_{jc} — объем ТП в цель; $Q_{ic}^{\max}$ — максимально возможный объем ТП из источника; $Z_{jc}^{\max}$ — максимальный возможный объем ТП в цель; $\underline{Q}_{ic}$, $\bar{Q}_{ic}$ — фактор нижней или верхней границы объема ТП из источника; $\underline{Z}_{jc}$, $\bar{Z}_{jc}$ — фактор нижней или верхней границы объема ТП в цель; Q_{ic}^{pot} — потенциально возможный объем ТП в источнике; Z_{jc}^{pot} — потенциально возможный объем ТП в цели; V_c — общий объем потока; фактор, учитывающий соблюдение балансового условия $V = \sum_i Q_i = \sum_j Z_j$ при расчете объемов ТП районов.

С помощью A_i , E_j , M_k обозначаются события о том, что перемещение начинается в транспортном районе i , заканчивается в транспортном районе j при этом используется транспортное средство k . Предполагается, что эти события происходят независимо друг от друга, тогда безусловные вероятности $P(A_i)$, $P(E_j)$, $P(M_k)$ можно представить в виде

$$P(A_i) = \frac{s_i}{P^\Sigma} \varphi_{s_i}; \quad P(E_j) = \frac{d_j}{P^\Sigma} \varphi_{d_j}; \quad P(M_k) = \frac{tr_k}{P^\Sigma} \varphi_{tr_k}. \quad (3)$$

Условные вероятности из создания ТП примут вид

$$P(A_i|W) = \frac{s_i}{P^\Sigma}; \quad P(E_j|W) = \frac{d_j}{P^\Sigma}; \quad P(M_k|W) = \frac{tr_k}{P^\Sigma}, \quad (4)$$

где $P^\Sigma = \sum_i s_i$ — общий поток транспорта.

Для всех i, j, k определены условные вероятности для принятия перемещения (наступления события W) в виде

$$L_{ijk} = P(W | (A_i \cap E_j \cap M_k)) \quad (5)$$

или отклонения (ненаступления события $\bar{W}$) этого перемещения

$$\bar{L}_{ijk} = P(\bar{W} | (A_i \cap E_j \cap M_k)) = 1 - L_{ijk}. \quad (6)$$

Исходя из предположения о том, что ТП $\rho_{i,j,k}$ пропорциональны условным вероятностям $P(\bar{W} | (A_i \cap E_j \cap M_k))$, следует

$$\rho_{i,j,k} = P((A_i \cap E_j \cap M_k) | W) \cdot P^\Sigma = \frac{P(A_i)P(E_j)P(M_k)P(W | (A_i \cap E_j \cap M_k))}{\sum_{i'} \sum_{j'} \sum_{k'} P(A_{i'})P(E_{j'})P(M_{k'})P(W | (A_{i'} \cap E_{j'} \cap M_{k'}))} \cdot P^\Sigma. \quad (7)$$

Вероятность может быть квантифицирована с помощью установок, которые следует проверить эмпирическим путем.

Базовая тринейная модель (рис. 1) с условиями контрольных сумм транспортных корреспонденций задается следующим видом:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \rho_{i,j,k} = s_i; \quad \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^l \rho_{i,j,k} = d_j; \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \rho_{i,j,k} = tr_k; \quad \rho_{i,j,k} = L_{i,j,k} \varphi_{s_i} \varphi_{d_j} \varphi_{tr_k}, \quad (8)$$

где $L_{i,j,k}$ — вероятность оценки; $\varphi_{s_i}, \varphi_{d_j}, \varphi_{tr_k}$ — калибровочные коэффициенты, определяемые эмпирическим или расчетным путем, которые содержат информацию о предпочтении перемещений.

Данная модель позволяет с высокой степенью достоверности оценить величину транспортного предложения и спроса. Достоинством её является возможность учета некоторых данных геоинформационных систем и систем учета статистических данных. При создании транспортного движения в модели используется список специфических классов поведенческой активности населения [20], классов транспортных средств, что делает возможным описание поведения городского населения в границах пассажирского и служебного транспорта. К недостаткам данной модели можно отнести невозможность учета грузового транспорта, недвижимого транспорта, объектов социальной и транспортной инфраструктуры.

Абстрактная система классификации транспортной активности городского населения, принятая в модели EVA, не позволяет производить анализ транспортной активности в границах системы государственной статистики Российской Федерации. В модели затруднена реализация обратной связи с участниками транспортного процесса.

В проекте были использованы следующие исходные данные: социальная статистика транспортных районов (трудящиеся, рабочие места, население, рабочие места в сфере услуг и т. п.); улично-дорожная сеть (структура дорожной сети с показателями пропускной способности, количества полос, скорости); данные о количестве ТС в ключевых узлах для калибровки модели; характеристики общественного транспорта (остановки, маршруты и расписания автобусов, троллейбусов, трамваев, метро и маршрутных такси) и др. Так как проект осуществлялся на основе апробированной городской модели, некоторые из приведенных ранее статистических данных уже содержались в городской модели.

Трилинейная модель

s_i Источник зарождения
транспортного потока

d_j Сток поглощения
транспортного потока

tr_k Тип транспортного средства

tr_k	Метро	Троллейбус	Автобус	Трамвай	Маршрутка	Водный транспорт	Личный транспорт	Σs_i
s_i								
s_1	ρ_{11}	ρ_{12}	ρ_{13}	ρ_{14}	ρ_{15}	ρ_{16}	ρ_{17}	
s_i								
Σtr_k								

d_j	d_1	d_2		d_j	Σs_i
s_i					
s_1	ρ_{11}	ρ_{12}		ρ_{1j}	
s_i					
Σd_j					

tr_k	Метро	Троллейбус	Автобус	Трамвай	Маршрутка	Водный транспорт	Личный транспорт	Σd_j
d_j								
d_1	ρ_{11}	ρ_{12}	ρ_{13}	ρ_{14}	ρ_{15}	ρ_{16}	ρ_{17}	
d_j								
Σtr_k								

Рис. 1. Матрицы корреспонденций трилинейной модели

Сбор отсутствующих данных для разработки логической модели транспортного процесса и ее последующей калибровки проводился по двум направлениям: вначале собиралась и уточнялась информация о транспортной инфраструктуре районов, прилегающих к маршруту «Приморская линия» ВВПТ, уточнялась характеристика транспортного тяготения (характеристика улично-дорожной сети, структура населения, места работы, учебы) и характеристика городского пассажирского транспорта (расположение остановок, маршруты, расписания ГПТ), затем проводились сбор и оценка данных транспортной статистики на маршрутах ВВПТ и ГПТ.

Тип данных: объем пассажиропотока (пасс./сут), интервал движения общественного транспорта (мин), скорость транспортного потока (км/ч). Сбор статистических данных на маршруте «Приморская линия» ВВПТ осуществлялся в течение восьми дней с 8.00 – 20.00 на остановочных пунктах: 1. Арсенальная наб. (напротив пл. Ленина). 2. Петроградская наб. спуск № 3. 3. Аптекарская наб. (напротив дома № 5 по ул. Академика Павлова). 4. Приморский пр. (напротив станции метро «Черная речка»), спуск № 2, 5. Приморский пр. (юго-восточнее дома № 22, лит. А), спуск № 5, 6. Приморский пр. (ниже 3-го Елагина моста).

По маршруту «Приморская линия» курсируют 2 – 4 судна «Hitek 85C» вместимостью до 12 чел. В процессе регистрации статистических данных пассажирам был задан вопрос: *Какова цель поездки по маршруту «Приморская линия»?* Предлагалось два варианта ответа: развлекательная / туристическая, обычная пассажирская. Также в течение 10 поездок регистрировалась средняя скорость аквабуса на маршруте «Приморская линия», которая составила 58 км/ч. Из рис. 2 видно, что наибольшую нагрузку пассажиропотока маршрут «Приморская линия» ВВПТ испытывает по выходным дням (суббота, воскресенье) на начальном (182 чел.) и конечном остановочном пункте (ОП) (227 чел.). В течение рабочей недели нагрузка

пассажиров на маршруте «Приморская линия» ВВПТ резко снижается, о чем свидетельствуют статистические данные. При этом необходимо отметить, что их величина на начальном и конечном отрезке пути значительно превышает значение количества пассажиропотоков, осуществивших посадку на промежуточных отрезках пути маршрута «Приморская линия» ВВПТ. По результатам опроса можно сделать вывод, что преимущественная часть пассажиропотока имеет развлекательно-туристический вектор, а именно: 74 % воспользовались маршрутом ВВПТ «Приморская линия» как туристы; 26 % составили рядовые пассажиры.

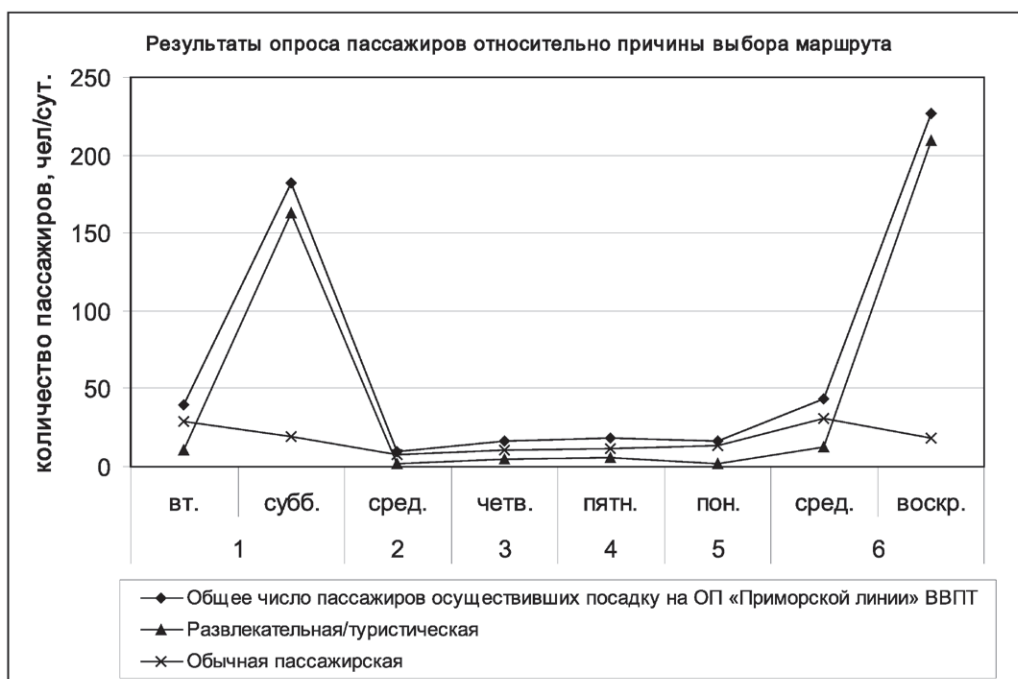


Рис. 2. Результаты опроса пассажиров относительно причины выбора маршрута

В процессе работы также проводилось исследование скорости транспортного потока на УДС в районах, прилегающих к остановочным пунктам ВВПТ «Приморской линии». В результате которого было установлено, что УДС в районах, прилегающих к остановочным пунктам ВВПТ маршрута «Приморская линия» находится под постоянной нагрузкой в часы пик, так как связывает центральную часть Санкт-Петербурга с его северной и южной частью.

Наиболее высокая плотность движения наблюдалась на Арсенальной наб., Пироговской наб., Б. Сампсониевском пр., Кантемировской ул., ул. Академика Крылова, Ушаковской наб., Торфяной дороге, ул. Савушкина и пр. Маршала Блюхера. Средняя скорость движения транспортного потока на этих участках составляет 10 км/ч. На участках УДС – Б. Сампсониевский пр., ул. Академика Лебедева, ул. Куйбышева скорость движения транспортного потока составляет 15 – 30 км/ч. В данной ситуации маршрут ВВПТ «Приморская линия» способен немного снизить нагрузку на прилегающую транспортную сеть, увеличив ее устойчивость к внезапным негативным транспортным факторам.

Таким образом, разработка информационно-логической прогнозной модели «Приморской линии» ВВПТ выполнена с помощью программы PTV Vision® VISUM. В качестве исходных данных использовались городская базовая транспортная модель городского общественного пассажирского транспорта г. Санкт-Петербурга, 2009 г. (380 транспортных района, 4400 примыканий, 32000 уз, население 4650 тыс. чел.), общие сведения об исследуемых районах, данные статистики, данные транспортных структур (типы дорог, среднегодовая суточная интенсивность, пропускная способность в час).

Прогнозная модель распределения транспортных потоков на УДС СПб и внутренней сети метрополитена, прилегающих к маршруту «Приморская линия» ВВПТ, включала два сценария: моделирование транспортной ситуации до ввода в эксплуатацию маршрута «Приморская линия» ВВПТ и моделирование транспортной ситуации после ввода в эксплуатацию маршрута «Приморская линия» ВВПТ. Связь района с сетью осуществляется через примыкание (виртуальные отрезки) его центра тяжести к узлам транспортной сети, так же, как генерация и поглощение транспортных потоков данным районом.

Моделирование и расчет распределения транспортных потоков на УДС СПб и внутренней сети метрополитена в зоне, прилегающей к остановочным пунктам ВВПТ маршрута «Приморская линия», осуществлялся согласно транспортной модели 1 — до ввода в эксплуатацию маршрута «Приморская линия» ВВПТ (рис. 3) и согласно транспортной модели 2 — с вводом в эксплуатацию маршрута «Приморская линия» ВВПТ (рис. 4).

Транспортная модель состоит из основополагающих моделей: модели транспортного предложения, модели транспортного спроса и моделей воздействия [18]. Модель транспортного предложения — это транспортная сеть, состоящая из узлов (перекрестков, развязок и т. д.) и соединяющих их ребер (улиц, дорог и т. д.), которая предоставляет возможность перемещения для участников транспортного движения и описывает затраты на данные перемещения. Модели спроса на транспорт можно охарактеризовать как математические «инструменты», описывающие качественно и количественно перемещения в связи с причинами возникновения транспортного потока: выбор активностей (*модель генерации транспортного движения*), выбор цели транспортного потока (*модель распределения транспортного движения*), выбор транспортного средства (*модель разделения транспортного движения*) и выбор пути (*модель перераспределения транспортного движения*).

Выводы

В результате прогнозного моделирования было установлено, что введение ВВПТ маршрута «Приморская линия» вызовет изменение суточного пассажиропотока на УДС в пределах менее 0,1 %, на станциях метрополитена менее 0,3 %. Эпюры распределения пассажиропотоков на УДС, внутренней сети метрополитена и ВВПТ маршрута «Приморская линия» приведены на рис. 5 и 6. Модели продемонстрировали высокую скорость сходимости при работе с матрицами большой размерности 800×800 .

Ввод в эксплуатацию ВВПТ маршрута «Приморская линия» способен повысить устойчивость пассажирской транспортной сети, ее провозную и пропускную способность. В целях опережающего развития ВВПТ инфраструктуры г. Санкт-Петербурга следует оценить темпы роста жилищного строительства, направленные на создание намывных территорий в таких районах, как оз. Лахтинский Разлив; Парк 300-летия Санкт-Петербурга; Южно-Приморский парк. Намывные анклавы необходимо связать с единой ГТС, обеспечив ее устойчивое функционирование. При решении этой транспортной проблемы возникает ряд сложностей:

– *технические* — существующий участок УДС Северо-Запада испытывает дефицит пропускной способности — средняя скорость транспортного потока на таких магистралях, как ул. Савушкина, Приморский пр. не превышает в часы пик 30 км/ч, следовательно, дополнительный рост пассажиропотока на УДС, без увеличения ее пропускной способности, может привести к транспортным заторам и увеличению времени поездок;

– *экономические* — не всегда удастся изыскать достаточное количество бюджетных средств для строительства новых транспортных коммуникаций, а строительство платных дорог в сложившейся неблагоприятной социально-экономической обстановке может повлечь за собой увеличение пассажиропотока на бесплатных участках УДС.

Таким образом, становится актуальным использование ВВПТ маршрута «Приморская линия» в качестве резервного при соединении будущих намывных территорий Северо-Запада с ГТС. Для этого ВВПТ маршрута «Приморская линия» может быть продлена на 2 км (вариант 1 рис. 7), а при развитии зоны «Крестовская отмель» — на 2,6 км (вариант 2 рис. 7).

Работа выполнялась при поддержке Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга в 2011 г.

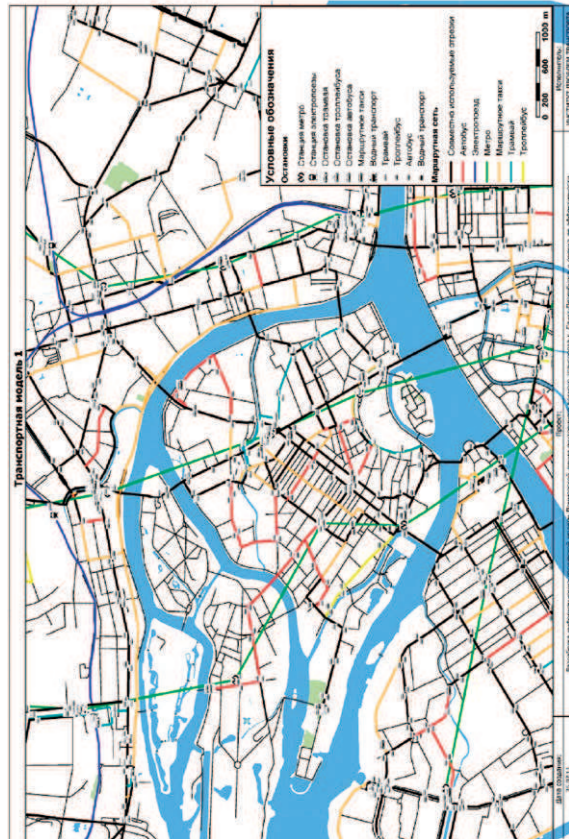


Рис. 3. Транспортная модель 1. Маршрутная транспортная сеть

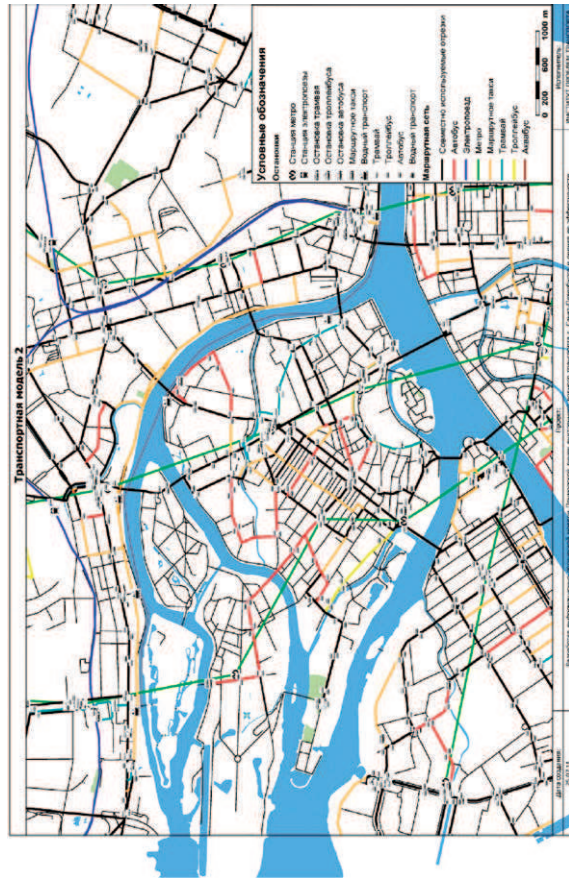


Рис. 4. Транспортная модель 2. Маршрутная транспортная сеть

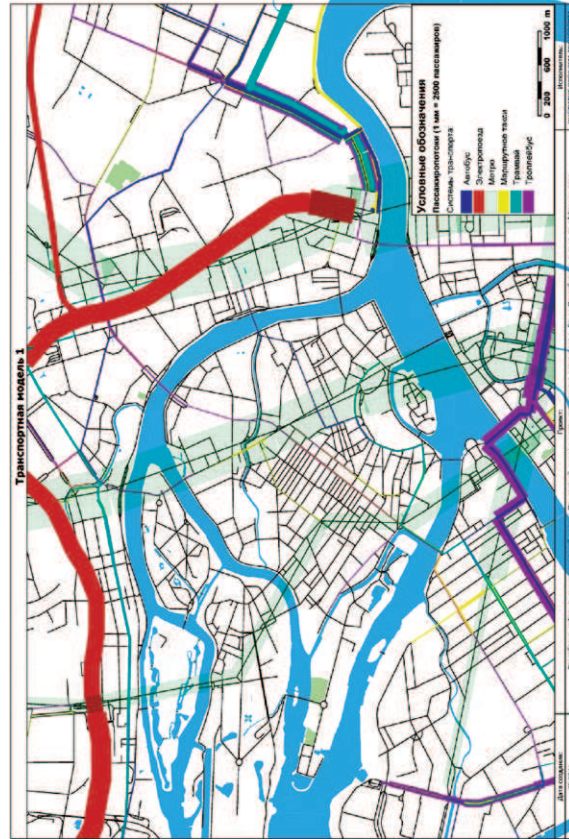


Рис. 5. Результаты расчета транспортного спроса и предложения (модель № 1)

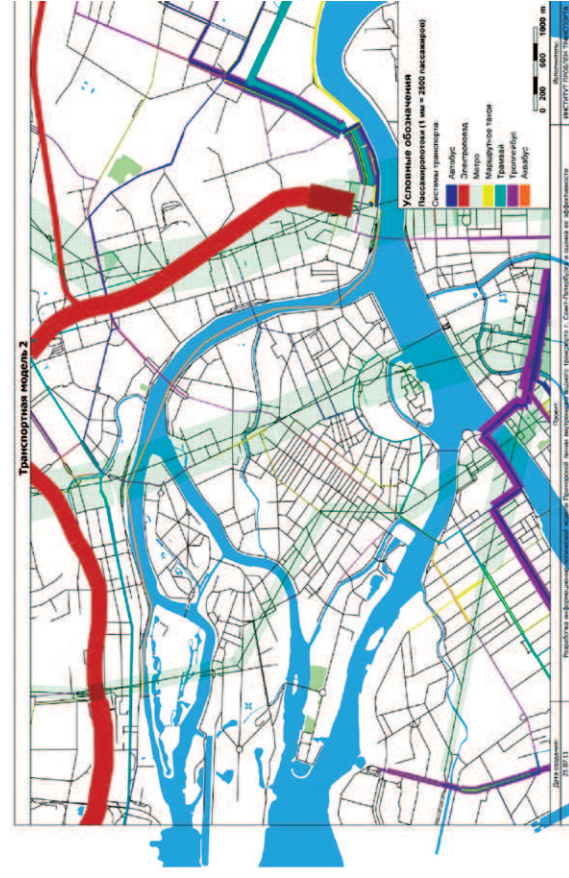


Рис. 6. Результаты расчета транспортного спроса и предложения (модель № 2)

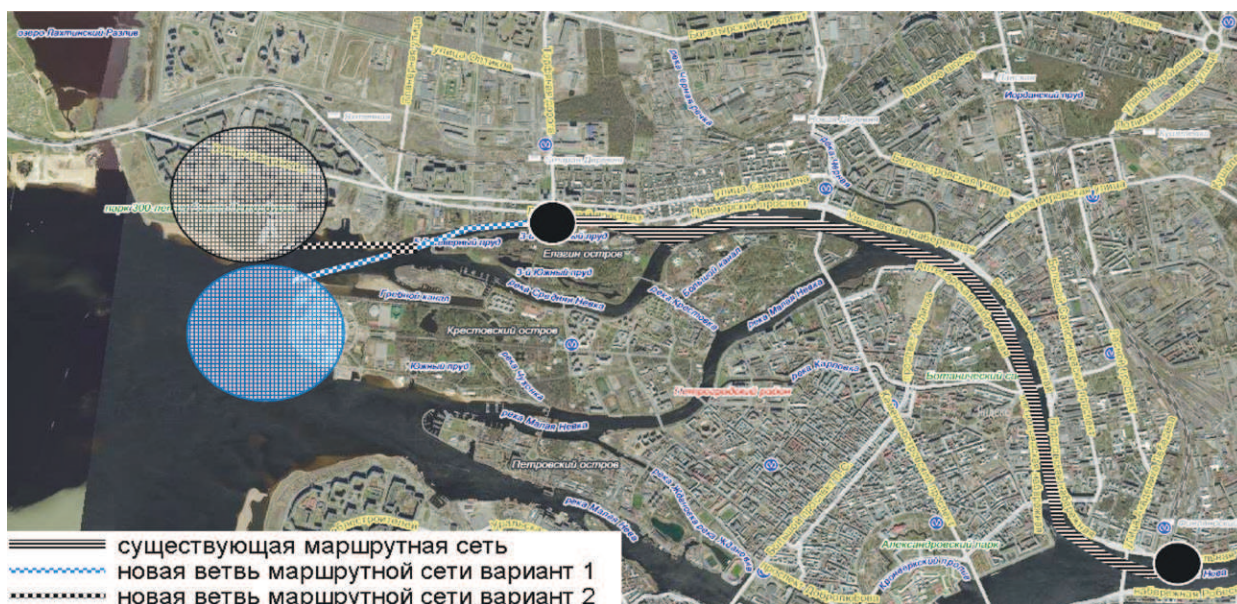


Рис. 7. Схема возможного развития ВВПТ маршрута «Приморская линия»

Список литературы

1. Белый О. В. Фундаментальные проблемы развития транспортного комплекса / О. В. Белый // Экономика качества. — 2013. — № 3. — С. 23–28.
2. Белый О. В. О безопасности движения автомобильного транспорта на дорогах России / О. В. Белый // Транспорт: наука, техника, управление. — 2011. — № 2. — С. 30–33.
3. Кокаев О. Г. О технологии анализа транспортных процессов в современных условиях хозяйствования / О. Г. Кокаев, О. Ю. Лукомская, С. А. Селиверстов // Транспорт Российской Федерации. — 2012. — № 2 (39). — С. 32–36.
4. Newell G. F. A simplified car-following theory: a lower order model // Transportation Research Part B. — 2002. — PP. 195–205.
5. Kerner B. S., Klenov S. L., Wolf D. E. (2002) Cellular automata approach to three-phase traffic theory. J Phys A Math Gen 35 (47). doi:10.1088/0305-4470/35/47/303.
6. Nagatani T.: The physics of traffic jams. Rep. Prog. Phys. 65, 1331–1386 (2002).
7. Hans van Lint, Serge P. Hoogendoorn, Marco Schreude. Multi-Class First Order Traffic Flow Modeling. Traffic and Granular Flow '07. 2009. — P. 421–426.
8. Селиверстов Я. А. Построение моделей управления городскими транспортными потоками в условиях неопределенности внешней информационной среды / Я. А. Селиверстов, А. Н. Стариченков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2014. — № 6 (210). — С. 81–94.
9. Селиверстов Я. А. О построении модели классификации межагентных отношений социально-экономического поведения городского населения в системах управления транспортными потоками мегаполиса / Я. А. Селиверстов // Интернет-журнал «Науковедение». — 2014. — № 5 (24). — С. 1–12. [Электронный ресурс] — М.: Науковедение, 2014. — Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/159TVN514.pdf>, свободный. — Загл. с экрана.
10. Селиверстов Я. А. Использование правила резолюций в вопросно-ответной процедуре транспортного планировщика / Я. А. Селиверстов // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 1 (20). — С. 145–152.
11. Селиверстов Я. А. Особенности построения системы городского транспортно-логистического мониторинга / Я. А. Селиверстов, С. А. Селиверстов, А. Л. Стариченков // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2015. — № 1. — С. 29–36.

12. *Селиверстов С. А.* Методы и алгоритмы интеллектуального анализа процесса организации транспортной системы / С. А. Селиверстов // Вестник ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — Вып. 2(24). — С. 92–100.
13. *Селиверстов С. А.* Основы теории бесконфликтного непрерывного транспортного процесса движения / С. А. Селиверстов, Я. А. Селиверстов // Интернет-журнал Науковедение. — 2014. — № 3. — С. 122.
14. *Лукомская О. Ю.* Модели и алгоритмы оптимальности регулярных транспортных потоков с использованием интеллектуальных систем управления судопропуском / О. Ю. Лукомская // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2014. — № 5. — С. 34–37.
15. *Швецов В. И.* Проблемы моделирования передвижений в транспортных сетях / В. И. Швецов // Труды МФТИ. — 2010. — С. 169–179.
16. *Горбачев П. Ф.* Моделирование спроса на перевозку пассажиров в пригородном сообщении / П. Ф. Горбачев, В. И. Крикун // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013. — № 3 (62). — С. 12–15.
17. *Горбачев П. Ф.* Методика расчета емкостей транспортных районов с учетом динамических процессов в транспортной системе / П. Ф. Горбачев, А. С. Колий // Автомобильный транспорт. — 2012. — № 30. — С. 139–143.
18. *Швецов В. И.* Алгоритмы распределения транспортных потоков / В. И. Швецов // Автоматика и телемеханика. — 2009. — № 10. — С. 148–157.
19. *Селиверстов Я. А.* Моделирование процессов распределения и развития транспортных потоков в мегаполисах / Я. А. Селиверстов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2013. — № 1. — С. 43–49.
20. Traffic. Mobility. Logistics. PTV Vision. Visum 11.0. Basics. 2009. PTV AG. Karlsruhe. — 692 p.