

9. Пластинин А. Е. Оценка ожидаемого ущерба водным объектам при разливах нефти / А. Е. Пластинин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 1. — С. 97–104.

10. Пластинин А. Е. Разработка матриц выбора средств борьбы с разливами нефти / А. Е. Пластинин // Речной транспорт (XXI век). — 2014. — № 2. — С. 53–61.

11. Наумов В. С. Моделирование процессов ликвидации разливов нефти с судов / В. С. Наумов, А. Е. Пластинин // Речной транспорт (XXI век). — 2014. — № 3. — С. 65–70.

12. Липатов И. В. Оценка гидродинамических условий при ликвидации разливов нефти / И. В. Липатов, А. Е. Пластинин // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 5. — С. 127–134.

13. Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды (утв. приказом МПР РФ от 8 июля 2010 года № 238) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902227668>, свободный. — Загл. с экрана. (дата обращения: 24.10.2014).

14. Пластинин А. Е. Оценка экологической опасности судов внутреннего плавания, подлежащих утилизации: Дис. ... канд. техн. наук: 03.00.16. / А. Е. Пластинин. — Защищена 30.11.04; утв. 11.03.05. — Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2004. — 18 с.

15. Пластинин А. Е. Исследование распределения массы компонентов различного класса опасности по районам судна, подлежащего утилизации / А. Е. Пластинин // Вестник ВГАВТ. — 2006. — Вып. 18. — С. 142–145.

16. Дормидонтов Н. К. Проектирование судов внутреннего плавания / Н. К. Дормидонтов. — Л.: Судостроение, 1974. — 336 с.

УДК: 656; 004.8, 007.5 , 51-7, 510.67

Я. А. Селиверстов,
науч. сотр.;

С. А. Селиверстов,
науч. сотр.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЫХ ВИДОВ ГОРОДСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

ABOUT USING SIMULATION TO EVALUATE THE EFFICIENCY OF THE NEW TYPE OF THE URBAN PASSENGER TRANSPORT

Выполнено формальное построение модели распределения транспортных потоков с использованием графоаналитического и теоретико-множественного аппаратов. На практическом примере пояснен метод распределения транспортных потоков. Приведена разработка информационно-логической модели нового маршрута «Невской линии» внутригородского водного пассажирского транспорта. Выполнено моделирование и произведена оценка распределения транспортных потоков на улично-дорожной сети и внутренней сети метрополитена Санкт-Петербурга. Осуществлена оценка увеличения провозной способности «Невской линии» внутригородского водного пассажирского транспорта. Проанализированы результаты транспортного моделирования. Даны рекомендации по транспортному обслуживанию прилегающих к «Невской линии» районов. Обозначены практические ориентиры развития технологии транспортного моделирования.

The formal mathematical construction of the model distribution of traffic flows using graph theory and set-theory are developed. The method of distribution of traffic flows are explained with the practical example. The program model of the new route "Neva line" water transport are developed here. The evaluation of the distribution of traffic on the road network and the network of metro of St. Petersburg is performed with using the transport

modeling. The evaluation of increase carrying capacity of the "Neva line" water passenger transport is performed with using the transport modeling. The results of transport modeling are analyzed here. The recommendations for urban areas, adjoining to "Neva line" are given here. The ways of development of transport modeling are given here.

Ключевые слова: городская транспортная система, внутренний водный пассажирский транспорт, транспортное моделирование, методы распределения транспортных потоков, прогнозирование транспортных потоков, матрицы корреспонденций.

Key words: urban transportation system, water transport, transport modeling, methods of distribution of traffic flows, traffic forecasts, the matrix correspondence.

Введение

Рост современных мегаполисов, сопровождаемый усложнением процессов урбанизации, оказывает существенное влияние на изменение структурно-функциональных особенностей его транспортной системы (ТС) [1]. К последнему относится устойчивый рост мобильности городского населения и спроса на перевозки, увеличение плотности транспортных потоков (ТП) на транспортных сетях мегаполиса и совершенствование условий дорожного движения, развитие маршрутов общественного транспорта и изменение режимов его функционирования. При этом нерациональное управление городской ТС становится причиной таких серьезных проблем, как снижение безопасности дорожного движения, рост дорожно-транспортной аварийности, перегруженность транспортных коммуникаций, снижение общей пропускной способности транспортной сети, ухудшение экологической ситуации в городе и здоровья его населения. Поэтому обеспечение сбалансированного развития ТС мегаполиса в границах перспективной концепции устойчивого развития транспорта является сложнейшей научной задачей, требующей использования передовых методов транспортного планирования. К одним из наиболее эффективных способов принятия решений по оптимизации структуры и процессов функционирования транспортной системы страны, региона или города относится создание их транспортных моделей, которые позволяют отображать близкие к реальным закономерности транспортных процессов и, самое главное, оценивать последствия этих решений.

Следует отметить, что транспортная система Санкт-Петербурга представляет собой сложную организационно-техническую систему со сложно прогнозируемым поведением, что накладывает дополнительные ограничения на процесс управления ею и оценку результатов последнего.

В настоящее время в Соединенных Штатах Америки и странах Евросоюза подавляющее большинство транспортных проектов оцениваются с использованием методов имитационного моделирования. В России транспортное моделирование начали использовать с 2000 г. Среди последних работ российских исследователей в этой сфере необходимо отметить следующие позитивные сдвиги: в работе [2] выполнено построение структурной модели системы городского транспортно-логистического мониторинга и обозначены ее перспективы; в работе [3] представлены результаты решения оптимизационных задач линейного программирования (ЛП) для оценки и обоснования мер повышения эффективности ТС для г. Перми; в работе [4] построены математические модели формирования оптимального тарифа и выполнен расчет для г. Перми; в работе [5] рассмотрен подход классификации и упорядоченности транспортного поведения городского населения; в работе [6] вводится модель управления городской ТС, опирающаяся на целевые ориентиры пользователя и целевые ориентиры городской ТС; в работе [7] выполнена оценка эффективности ввода новых станций метрополитена методом транспортного моделирования.

Анализ предметной области свидетельствует о значительных успехах в развитии программных средств имитационного моделирования городских ТП. Однако формальное описание моделей распределения ТП и методы моделирования встречаются редко или остаются за рамками авторского изложения. Таким образом, задачи формализации модели и оценки эффективности внедре-

ния новых видов городского пассажирского транспорта с использованием технологии транспортного моделирования являются актуальными для рассматриваемой предметной области.

Настоящая работа, выполненная в 2011 г. при технической поддержке компании A+S и финансовой поддержке Комитета по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга, была посвящена решению научной задачи – оценке распределения ТП в г. Санкт-Петербурге, обусловленных вводом нового маршрута внутригородского водного пассажирского транспорта (ВВПТ) и анализу его эффективности. Изложение данной научной задачи уместно начать с формального построения модели распределения ТП.

Основная часть

Необходимые данные для построения модели распределения ТП формируются в процессе анализа городской транспортной мобильности системой городского транспортно-логистического мониторинга [2]. Исходные данные модели включают (рис. 1): $Q_{\Sigma} = \rho_{\partial\alpha}$ $Q_{\Sigma} = \rho$ – общий поток между местом отправления ∂ и местом прибытия α ; $\rho_{\partial\alpha}$ – корреспонденция между местом отправления и местом прибытия; i – индекс места отправления; j – индекс места прибытия; $DStr = \{dstr_c\}$ – множество категорий мест отправления и мест прибытия (слои спроса); $SG = \{sg_{i(j)s}\}$ – множество групп населения (свойства структуры); $(\partial \rightarrow \alpha) = (\partial = s_1 \rightarrow d_1 \rightarrow \dots \rightarrow d_{end} = \alpha)$ – множество промежуточных районов между местом отправления и местом прибытия, $s_i \in S$, $d_j \in D$; $P_{sg_{i(j)s}}(dstr_c \cap sg_{i(j)s} \cap Q_{\Sigma})$ – доля группы населения $sg_{i(j)s}$, относящейся к категории $dstr_c$ по месту отправления-прибытия в общем потоке Q_{Σ} ; $R_{(\partial;\alpha)} = \bigcup_k r_k$ – множество транспортных маршрутов k между местом отправления ∂ и местом прибытия α ; $P_{sg_{i(j)s}}^{r_k}(dstr_c \cap sg_{i(j)s} \cap \rho_{\partial\alpha} \cap R_{(\partial;\alpha)})$ – доля группы населения $sg_{i(j)s}$, относящейся к категории $dstr_c$, пользующейся маршрутом r_k при движении из места отправления ∂ к месту прибытия α .

Требуется найти разбиение потока Q_{Σ} на составляющие его потоки $\bigcup_{sg_{i(j)s} \in SG} Q_{sg_{i(j)s}}$ по группам населения $sg_{i(j)s}$ (структура потока); распределение потока Q_{Σ} , структурированного по группам населения, по k транспортным маршрутам $\bigcup_k \bigcup_{sg_{i(j)s} \in SG} Q_{sg_{i(j)s}}^{r_k}$ от места отправления ∂ к месту прибытия α .

Разбиение потока Q_{Σ} на составляющие его потоки $\bigcup_{sg_{i(j)s} \in SG} Q_{sg_{i(j)s}}$ по группам населения $sg_{i(j)s}$ определяется следующим образом:

$$Q_{sg_{i(j)s}} = Q_{\Sigma} \cdot P_{sg_{i(j)s}} \quad (1)$$

Величина $Q_{sg_{i(j)s}}^{r_k}$ структурированного по группам населения $sg_{i(j)s}$ потока $Q_{sg_{i(j)s}}$ по маршруту k определяется в соответствии с выражением

$$Q_{sg_{i(j)s}}^{r_k} = Q_{sg_{i(j)s}} \cdot P_{sg_{i(j)s}}^{r_k}. \quad (2)$$

Предполагается также соблюдение условия баланса по прибытию и отправлению ТП:

$$\sum_{j=1}^n \rho_{i,j} = s_i; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m \rho_{i,j} = d_j; \quad (4)$$

$$\rho_{i,j} \geq 0, i \in S, j \in D. \quad (5)$$

Для решения задачи перераспределения ТП используют функцию ограничений движения по времени [15], [16] вида

$$tm_{\ell} = \tau_{\ell}^0 \left[1 + a \left(\frac{fx_{\ell}}{cm_{\ell}} \right)^b \right], \quad (6)$$

где τ_{ℓ}^0 – время свободного движения по ℓ пути; $Q_{r_{\ell}}$ – ТП на ℓ пути; $cm_{\ell} > 0$ – пропускная способность ℓ -го пути; $tm_{\ell} > 0$ – время прохождения ТП по ℓ пути; a, b – калибровочные коэффициенты.

Рассмотрим практический пример, поясняющий модель распределения ТП. Будем считать для простоты расчета, что функция ограничений (6) учтена в параметрах $P_{sg_{i(j)s}}^{r_k}$.

На рис. 1 синей рамкой выделены исходные данные, красной – параметры модели, которые необходимо определить, и их процедура расчета, черной – граф-схема исследуемого процесса с нанесенными результатами расчета.

Исходные данные: $Q_{\Sigma} = \rho_{\alpha} = 100$ чел.; $DStr = WA = \text{Дом} - \text{Работа}$; $R_{(\alpha, \alpha)} = \bigcup_k r_k = 3$; $P_{ET} = 0,89$; $P_{TRS} = 0,11$; $P_{ET}^{r_1} = 0,8$; $P_{ET}^{r_3} = 0,2$; $P_{TRS}^{r_3} = 1$; $SG = ET$, $TRS = \text{Трудящиеся, Туристы}$.

Требуется найти:

- 1) разбиение потока Q_{Σ} на составляющие его потоки Q_{ET} и Q_{TRS} ;
- 2) распределение потока Q_{Σ} , структурированного по группам населения $sg_{i(j)s}$ по k транспортным маршрутам, т. е. $Q_{ET}^{r_1}$, $Q_{ET}^{r_3}$, $Q_{TRS}^{r_3}$.

Решение:

1) разбиение потока Q_{Σ} на составляющие его потоки найдем из выражения (1): $Q_{ET} = 100 \cdot 0,89 = 89$ и $Q_{TRS} = 100 \cdot 0,11 = 11$;

2) распределение потоков, структурированных по группам населения $sg_{i(j)s}$ по k транспортным маршрутам, найдем из выражения (2):

$$Q_{ET}^{r_1} = 89 \cdot 0,8 = 71; \quad Q_{ET}^{r_3} = 89 \cdot 0,2 = 18; \quad Q_{TRS}^{r_3} = 11 \cdot 1 = 11;$$

3) проверка на соблюдение баланса (3) – (5): $s_{\alpha} = 100 = d_{\alpha} = 100$.

Пояснив модель распределения ТП, перейдем к анализу реальной транспортной ситуации на уличной дорожной сети г. Санкт-Петербурга и сети метрополитена с вводом «Невской линии» ВВПТ.

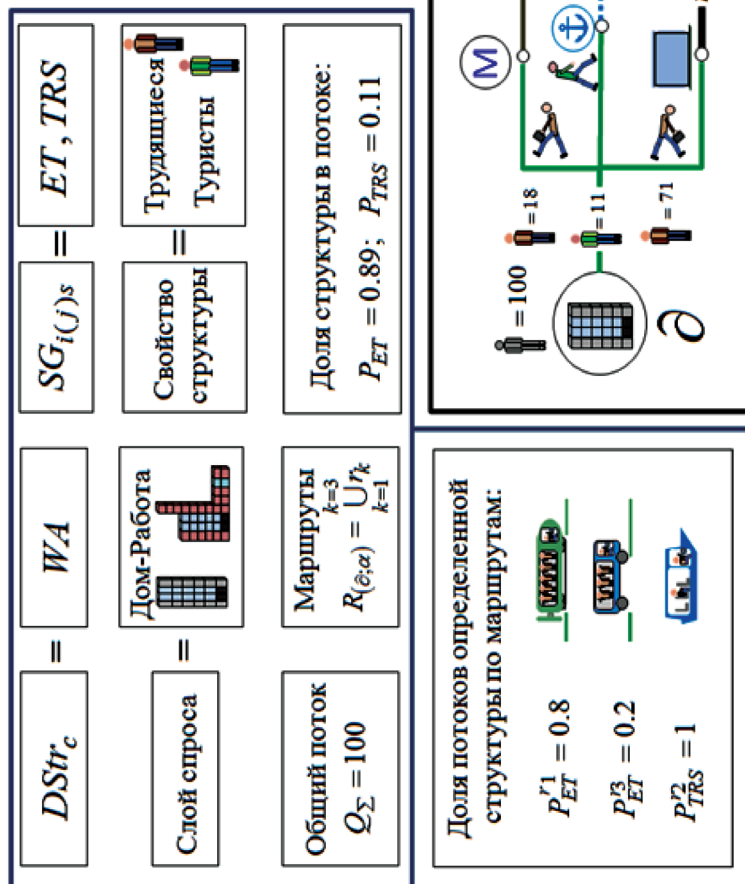
Сбор отсутствующих данных для разработки логической модели транспортного процесса и ее последующей калибровки проводился по двум направлениям: вначале собиралась и уточнялась информация о транспортной инфраструктуре районов, прилегающих к маршруту «Невская линия» ВВПТ, уточнялась характеристика транспортного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

Тип данных: объем пассажиропотока (пасс./сут), интервал движения общественного транспорта (мин), скорость транспортного потока (км/ч). Сбор статистических данных на маршруте «Невская линия» ВВПТ осуществлялся в течение восьми дней с 8.00 до 20.00 на остановочных пунктах:

- 1) Свердловская наб. (напротив дома № 4 по Большеохтинскому пр.), спуск № 1;
- 2) Синопская наб. (напротив дома № 2 по пл. Александра Невского), спуск № 2;
- 3) Обуховской Обороны пр. (напротив дома № 70);
- 4) Октябрьская наб. (напротив дома № 94, корп.1, лит. Л2);
- 5) Октябрьская наб. (напротив дома № 118);
- 6) Рыбацкий пр. (напротив дома № 2);
- 7) Рыбацкий пр. (напротив дома № 55).

Транспортное обеспечение маршрута: по маршруту «Невская линия» курсируют от пяти до двенадцати судов класса «Стрела» пассажироместимостью 12 чел.

Исходные данные модели



Разрешение модели

$Q_{sgl(j)s}^{rk} = Q_{sgl(j)s} \cdot P_{sgl(j)s}^{rk}$	
$Q_{sgl(j)s} = Q_{\Sigma} \cdot P_{sgl(j)s}$	
$Q_{ET} = 100 \cdot 0.89 = 89$	$Q_{TRS} = 100 \cdot 0.11 = 11$
$Q_{ET}^{r1} = 89 \cdot 0.8 = 71$	$Q_{TRS}^{r2} = 11 \cdot 1 = 11$
$Q_{ET}^{r3} = 89 \cdot 0.2 = 18$	

Рис. 1. Пример модели распределения транспортных потоков

В процессе регистрации статистических данных пассажирам был задан вопрос: Какова цель поездки по маршруту «Невская линия»? Предлагалось два варианта ответа: развлекательная / туристическая, обычная пассажирская. Также в течение 10 дней регистрировалась средняя скорость аквобуса на маршруте «Невская линия». В результате анализа было установлено, что средняя скорость на маршруте «Невская линия» составляет 55 км/ч.

Наибольший пассажиропоток на маршруте (рис. 2) приходится на выходные дни (суббота, воскресенье). Основной пассажиропоток формируется на начальном (175 чел.) и конечном остановочных пунктах (203 чел.). В течение рабочей недели пассажиропоток на маршруте резко снижается, о чем свидетельствуют статистические данные. Подавляющая часть пассажиропотока носит развлекательно-туристический характер (74 %), рядовые пассажирские перевозки не превышают 26 %. Участки уличной дорожной сети в районе Синопской наб., Малоохтинской наб. (Большеохтинский мост) и пр. Обуховской обороны (мост Александра Невского) находятся под постоянной нагрузкой в часы пик, так как связывают Центральный и Невский районы. Средняя скорость транспортного потока на этих участках составляет около 10 км/ч. Наиболее высокая плотность движения зарегистрирована на Малоохтинской и Синопской наб., Большеохтинском мосту, мосту Александра Невского, Сампсониевском пр., Краснодонской ул., Якорной ул., Новочеркасском пр., Невском пр., Заневском пр., пр. Обуховской Обороны, ул. Стахановцев и Тульской ул. Данные участки уличной дорожной сети расположены вблизи остановочных пунктов 3 и 4 (см. рис. 2).

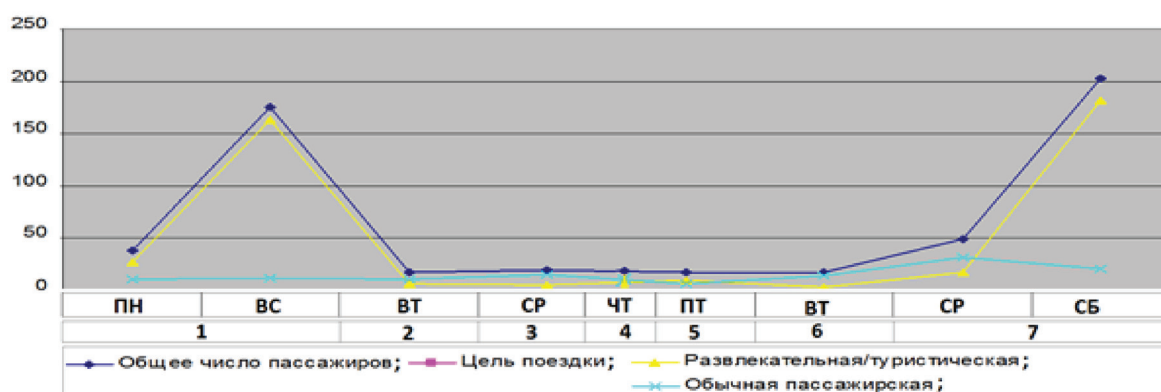


Рис. 2. Результаты опроса пассажиров относительно причины выбора маршрута

С отдалением от центра транспортная обстановка на уличной дорожной сети вблизи остановочных пунктов 5 и 6 улучшается. Скорость на Октябрьской наб., пр. Обуховской обороны и пр. Большевиков в районе ст. м. «Пролетарская» и Уткиной заводи в час пик превышает 40 км/ч. Вблизи остановочных пунктов 7 и 8 расположены следующие транспортные артерии: Рыбацкий пр., Шлиссельбургский пр., Караваяевская ул. и Прибрежная ул. Скорость транспортных потоков на них в час пик не превышает 25 км/ч. Маршрут «Невской линии» способен немного снизить нагрузку на прилегающую транспортную сеть, тем самым увеличив ее устойчивость к случайным отрицательным транспортным факторам. Разработка информационно-логической прогнозной модели «Невской линии» ВВПТ выполнялась с помощью программы PTV Vision® VISUM.

В настоящей работе рассмотрены две модели. Первая отражает плановую работу «Невской линии» ВВПТ, вторая – прогнозную ситуацию с ростом провозной способности «Невской линии» ВВПТ посредством замены судов класса «Стрела» на суда класса «Ингрия» и корректировки тарифов на перевозку пассажиров. Рассмотрим построение для транспортной модели № 1, поскольку транспортная модель № 2 строится аналогично.

На первом этапе выполняется районирование территорий г. Санкт-Петербурга. На втором этапе создаются примыкания между районами и транспортной сетью для транспортной модели № 1 (рис. 3). На третьем этапе строится схема маршрутной сети (рис. 4).

При разработке первой и второй модели в качестве исходной использовалась базовая модель городского общественного пассажирского транспорта г. Санкт-Петербурга, впоследствии дополненная маршрутами ВВПТ.

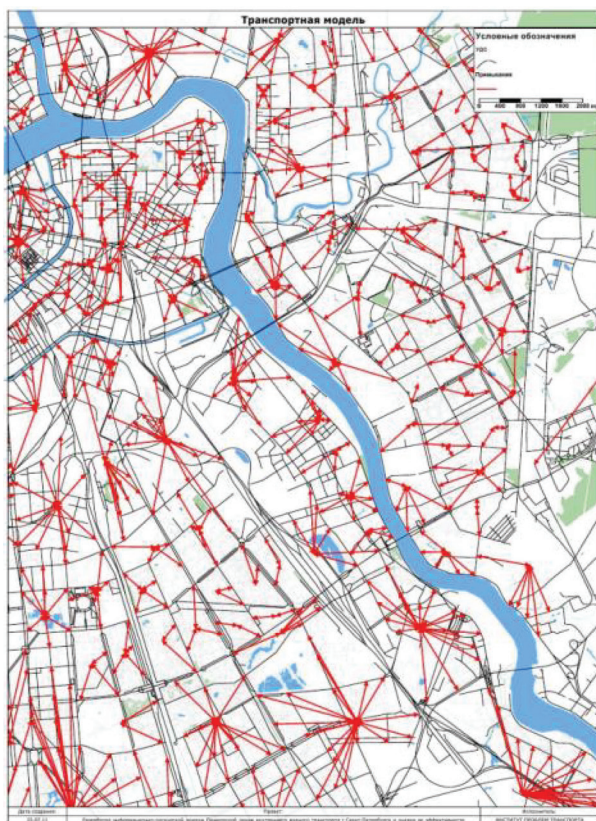


Рис. 3. Транспортные районы с примыканиями



Рис. 4. Схема маршрутной сети

Результаты моделирования, отражающие плановую работу «Невской линии» ВВПТ, рассматриваемую в транспортной модели № 1, приведены на рис. 5 а, а транспортной модели № 2 – на рис. 5 б. Ввод в эксплуатацию «Невской линии» вызовет незначительные количественные изменения в структуре пассажиропотоков на прилегающих к её маршруту станциях метрополитена.

Суточная величина отклонений пассажиропотоков на станциях метрополитена, прилегающих к маршруту «Невской линии» находится в интервале от 6 до 54 пасс./сут. Пассажиропоток на станциях «Рыбацкое», «Обухово», «Ломоносовская», «Елизаровская» снизится на величину порядка 30 чел./сут. Суточная величина отклонений пассажиропотока на *уличной дорожной сети Невского района* лежит в интервале 24 – 112 пасс./сут. Снижение пассажиропотока в ходе моделирования водного маршрута «Невская линия» зафиксировано на Свердловской наб. (78 чел./сут), Малоохтинском пр. (84 чел./сут), пр. Обуховской Обороны (112 чел./сут), Октябрьской наб. (83 чел./сут).

Увеличение провозной способности «Невской линии», посредством замены судов класса «Стрела» на суда класса «Ингрия» и корректировки тарифов на перевозку пассажиров окажет большее влияние на количественные изменения в структуре пассажиропотоков на прилегающих к маршруту «Невской линии» станциях метрополитена. Суточная величина отклонений пассажиропотоков на станциях метрополитена, прилегающих к маршруту «Невской линии», будет находиться в интервале 32 – 360 пасс./сут. Наиболее существенное снижение пассажиропотока составит на станциях «Рыбацкое» – 500 чел./сут, «Обухово» – 357 чел./сут, «Ломоносовская» – 249 чел./сут, «Елизаровская» – 137 чел./сут. Суточная величина отклонений пассажиропотоков на *уличной дорожной сети Невского района* будет лежать в интервале 142 – 512 пасс./сут. Снижение пассажиропотока зафиксировано на Свердловской наб. – 213 чел./сут, Малоохтинском пр. – 253 чел./сут, пр. Обуховской обороны – 203 чел./сут, Октябрьской наб. – 301 чел./сут.

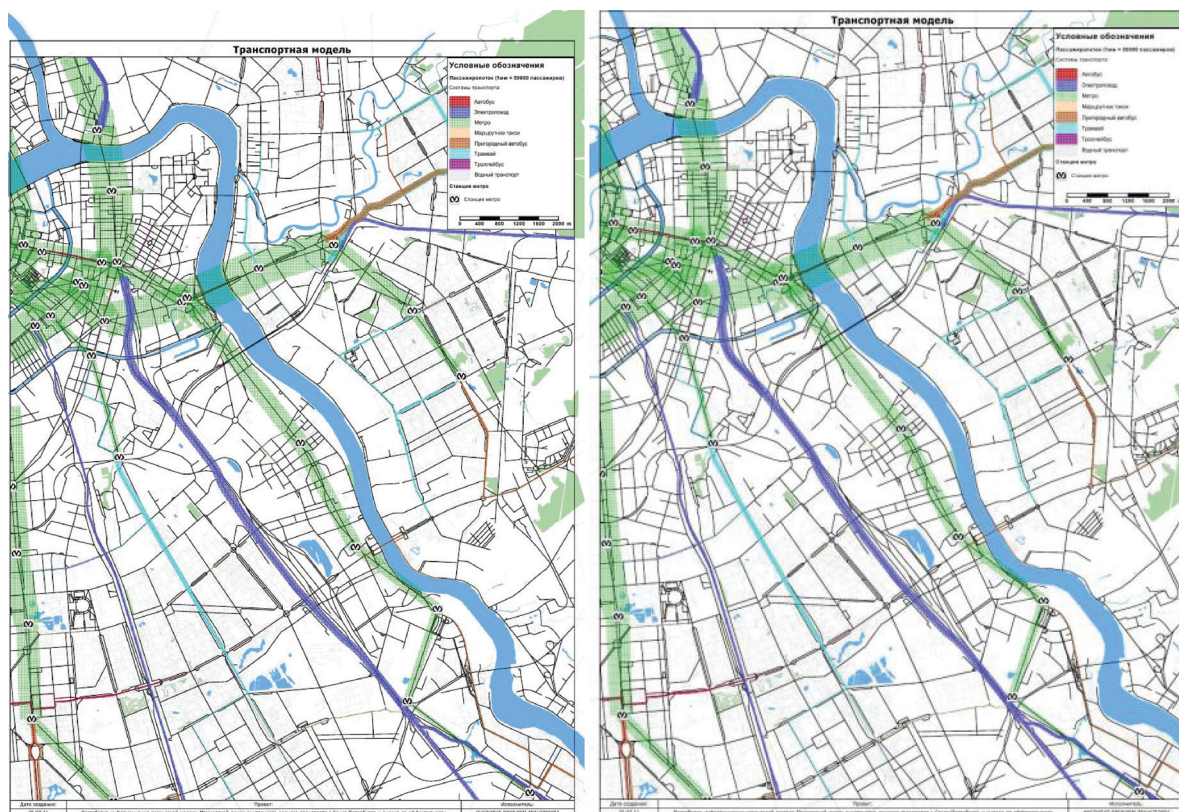


Рис. 5. Результаты расчета прогноза пассажиропотоков:
а – транспортная модель № 1; б – транспортная модель № 2

Выводы

На основании приведенных модельных расчетов можно сделать вывод о том, что ввод в эксплуатацию городского водного пассажирского маршрута «Невская линия», существенно не изменит транспортную ситуацию на уличной дорожной сети и станциях метрополитена, расположенных близ остановочных пунктов.

Руководствуясь проведенными исследованиями, также преждевременно ставить вопрос о целесообразности наращивания провозной способности «Невской линии» без корректировки тарифов и разработки мер, направленных на популяризацию водного транспорта с целью создания спроса со стороны пассажиров. Это станет возможным только при возведении новых жилых кварталов в Рыбацком и поселке Кудрово.

Исходя из ранее изложенного, предлагается позиционировать городской пассажирский маршрут «Невская линия» в качестве дополнительной транспортной коммуникации, обеспечивающей связь Невского района с Центральным районом города. Перечень мер, направленных на улучшение работы «Невской линии» ВВПТ, должен включать:

- строительство удобных пешеходных и автомобильных дорог к остановочным пунктам;
- обеспечение остановочных пунктов электронными табло, информирующими пассажиров о местонахождении и времени пребывания аквабусов;
- размещение вблизи остановочных пунктов водного маршрута остановок городского пассажирского наземного транспорта;
- модернизацию причальных сооружений с целью повышения скорости швартовки аквабусов и сокращения времени посадки-высадки пассажиров;
- включение ВВПТ в системы единых электронных билетов;
- проведение мер, направленных на популяризацию водного пассажирского транспорта у горожан.

Предлагается также рассмотреть возможность слияния маршрутов «Невской линии» и «Центральной линии» в «Центрально-Невскую линию» (рис. 6).



Рис. 6. Слияние маршрутов «Невской линии» и «Центральной линии»

Протяженность новой «Центрально-Невской линии» составит 25 км. Движение по новой водной транспортной артерии сократит время движения пассажиров на пересадку, а также позволит ликвидировать пересадочный узел в районе Свердловской набережной.

Центрально-Невский маршрут увеличит спрос со стороны пассажиров Центрального района, перемещающихся в Невский район и обратно. В случае дефицита провозной способности линии ее предлагается повысить посредством перехода на суда класса «Ингрия» большей вместимости. Безубыточность новой линии позволит сократить расходы бюджета Санкт-Петербурга на величину субсидий, предоставляемых перевозчикам в целях возмещения затрат или недополученных доходов в связи с осуществлением ими перевозок водным транспортом Санкт-Петербурга.

Рассмотренная модель распределения ТП согласуется с логико-алгоритмическими моделями систем управления городскими ТС [6], [8], логико-алгебраическими моделями систем управления логистикой [9], [10] и моделями пространственной организации городских транспортных система [11]. Ее интеграция в программно-аппаратные системы управления городским транспортом [12] – [15], в соответствии с принципами [16], [17], позволит качественно повысить эффективность транспортного обслуживания [18], [19] за счет точности прогноза дорожно-транспортной обстановки [20], [21] на уличной дорожной сети города Санкт-Петербурга.

Список литературы

1. Белый О. В. Фундаментальные проблемы развития транспортного комплекса / О. В. Белый // Экономика качества. — 2013. — № 3. — С. 23–28.
2. Селиверстов Я. А. Особенности построения системы городского транспортно-логистического мониторинга / Я. А. Селиверстов, С. А. Селиверстов, А. Л. Стариченко // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2015. — № 1. — С. 29–36.

3. Якимов М. Р. Модель формирования эффективной транспортной системы крупного города / М. Р. Якимов, Ю. В. Трофименко // Вестник ПГТУ. Урбанистика. — 2011. — № 4. — С. 4–12.
4. Якимов М. Р. Методология расчета оптимального тарифа на перевозки городским пассажирским транспортом общего пользования / М. Р. Якимов // Вестник транспорта Поволжья. — 2014. — № 2 (44). — С. 86–91.
5. Селиверстов Я. А. О построении модели классификации межагентных отношений социально-экономического поведения городского населения в системах управления транспортными потоками мегаполиса [Электронный ресурс] / Я. А. Селиверстов // Интернет-журнал Науковедение. — 2014. — № 5 (24). — С. 1–12.
6. 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.
7. Селиверстов Я. А. Моделирование процессов распределения и развития транспортных потоков в мегаполисах / Я. А. Селиверстов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». — 2013. — № 1. — С. 43–49.
8. Селиверстов С. А. Методы и алгоритмы интеллектуального анализа процесса организации транспортной системы / С. А. Селиверстов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 2 (24). — С. 92–100.
9. Селиверстов Я. А. Использование правила резолюций в вопросно-ответной процедуре транспортного планировщика / Я. А. Селиверстов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2013. — № 1 (20). — С. 145–152.
10. Селиверстов Я. А. О логико-алгебраическом представлении транспортно-логистического процесса / Я. А. Селиверстов, С. А. Селиверстов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2014. — № 4 (200). — С. 57–68.
11. Селиверстов С. А. Основы теории бесконфликтного непрерывного транспортного процесса движения / С. А. Селиверстов, Я. А. Селиверстов // Интернет-журнал Науковедение. — 2014. — № 3. — С. 1–33.
12. 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.
13. Mikulski J. Using telematics in transport / J. Mikulski // TST 2010. — Vol. 104. — P. 175–182.
14. Mikulski J. Role of telematics in reducing the negative environmental impact of transport / J. Mikulski, A. Kwaśny // TST. — 2010. — Vol. 104. — P. 11–29.
15. Селиверстов С. А. Моделирование транспортных потоков мегаполиса с вводом новых видов водного внутригородского пассажирского транспорта / С. А. Селиверстов // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 2 (30). — С. 69–80.
16. Селиверстов Я. А. Формальная аксиоматика теории функционального субъективного потребительского поведения / Я. А. Селиверстов, С. А. Селиверстов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. — 2014. — № 4. — С. 34–48.
17. Селиверстов Я. А. Основы теории субъективных функциональных возможностей рационального выбора [Электронный ресурс] / Я. А. Селиверстов // Интернет-журнал Науковедение. — 2014. — № 4 (23). — С. 1–39.
18. Куватов В. И. Пути ускорения перевозок и повышения безопасности автомобильного транспорта / В. И. Куватов, Н. В. Шаталова, В. А. Онов // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2013. — № 2 (26). — С. 26–33.
19. Van Wee B. The Transport System and Transport Policy: An Introduction, Cheltenham: Edward Elgar / B. Van Wee, J.-A. Annema, D. Banister. — 2013. — P. 424.
20. Xue J. Short-Time Traffic Flow Prediction Based on Chaos Time Series Theory / J. Xue, Z. Shi // Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology. — 2008. — № 8 (5). — P. 68–72.
21. Castillo E. Predicting traffic flow using Bayesian networks / E. Castillo, J. M. Menéndez, S. Sánchez-Cambronero // Transportation Research Part B: Methodological. — 2008. — № 42 (5). — P. 482–509.