



Гравитационное моделирование каршеринга на базе PTV Visum



Андронов Сергей Александрович – Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП), Санкт-Петербург, Россия.*

Сергей АНДРОНОВ

Каршеринг играет важную роль в переходе к беспилотному транспорту. В настоящей статье рассматриваются положительные и отрицательные моменты существующей системы каршеринга в России, а также прогнозные тенденции на примере Москвы и Санкт-Петербурга. Поскольку развитие каршеринга в Северной столице ещё не получило должной динамики, а прогнозы операторов по ёмкости рынка расходятся, интерес представляют определение условий, способствующих успешному развитию сервиса, и оценки потребности города в количестве машин.

Целью исследования, отражённого в статье, являлось исследование тенденций развития каршерингового сервиса, оценка потребного количества каршеринговых автомобилей и интенсивности их аренды в отдельном районе города. Для решения задачи использовался метод гравитационного моделирования на базе 18-й версии программной системы PTV Visum. Несмотря на то, что не использовались специальные средства разрабатываемой линейки программ PTV MaaS (Controller, Operator, Simulator, Modeller), продукт

позволяет строить транспортные модели макроуровня и выполнять транспортное моделирование с учётом новых форм мобильности (каршеринг, байкшеринг и пр.) при планировании и управлении транспортными системами городов.

Решение задачи предполагало разработку двух моделей транспортного спроса для выбранного района города: без и с учётом каршеринга. В процессе моделирования исследовалась структура временных транспортных затрат при изменении числа машин автопарка и интенсивности его аренды для ряда тарифов оператора. Критическое число каршеринговых автомобилей для района города определялось из условия наибольшей конкуренции этих машин с индивидуальным транспортом. Показано, что в текущих условиях эффект снижения современных транспортных затрат в районе составляет порядка 14 % при однолетнем горизонте моделирования. Результаты моделирования согласуются с реальными данными поездок и могут быть экстраполированы на другие районы города.

Ключевые слова: транспорт, городской транспорт, каршеринг, транспортное моделирование, PTV Visum.

*Информация об авторе:

Андронов Сергей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и логистики Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП), Санкт-Петербург, Россия, andronv_00@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 15.08.2019, принята к публикации 27.11.2019.

For the English text of the article please see p. 233.

ВВЕДЕНИЕ

Организационные меры разгрузки трафика, наряду с прочими, являются существенным подспорьем для создаваемых, весьма затратных интеллектуальных транспортных систем. В числе таких мер, способных внести весомый вклад в решение транспортных проблем города, — аренда автомобиля (или каршеринг) для краткосрочного передвижения на небольшие расстояния по городу и в близких его окрестностях.

В России подобные сервисы, такие, как райдшеринг (разделение оплаты между попутчиками), карпулинг (совместное использование автомобиля с другими людьми), аренда велосипедов, самокатов, электромобилей и другие, в настоящее время только набирают обороты. Городские жители начинают понимать, что лучше делить, а не владеть. Важным фактором продвижения названных сервисов является внедрение современных технологий, позволяющих воспользоваться данными сервисами с помощью смартфона. Услуги MaaS (mobility as a service) или «мобильность как услуга» подразумевают, что пользователь получает на свой смартфон готовое решение, как добраться из одной точки города в другую с учётом пробок.

Тема пробок и загрязнения является весьма болезненной. Кроме того, потери времени в пробках имеют вполне конкретное финансовое выражение не только для жителей, но и для бюджета городов. Оценка расходов от пробок в день по формуле [1] впечатляет:

$$M = T \cdot N \cdot (K \cdot S + B) = 1 \cdot 0,5 \cdot 10^6 \cdot (2 \cdot 324 + 90) \approx 369 \text{ млн руб.},$$

где M — общий расход от пробок в день;

T — время, проведённое в пробке одним человеком, ч.;

N — количество машин, стоящих в пробках, $0,5 \cdot 10^6$ авт. (в Москве по оценкам Яндекса более 10^6);

K — среднее число пассажиров;

S — средняя зарплата в час в Санкт-Петербурге при 40 часовой рабочей неделе в 2019 г. руб.;

B — средний расход топлива за час в транспортном заторе, 2 л (90 руб.).

По статистике одна машина краткосрочной аренды способна в день обеспечить нужды десятка пользователей. Таким

образом, участником дорожного движения становится всего один автомобиль, а не десять. По прогнозам экспертов, в результате из транспортного потока будут исключены 3–4 из 5 машин, что положительно отразится на состоянии трафика. В приведённой выше формуле это, очевидно, уменьшение параметра N более чем на 60 % и, следовательно, существенная экономия.

Помимо разгрузки трафика, переход к аренде с поминутной оплатой имеет следующие мотивы:

1. Высокая стоимость владения личным автомобилем.

Согласно исследованию портала «Авто.ру», в среднем владение личным автомобилем в России обходится в 32,2 тыс. руб. в месяц [2], и при этом стоимость возрастает вместе с инфляцией.

В случае аренды не придётся нести издержки, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом личного автомобиля, тратиться на парковку, бензин, страховку (арендуемые автомобили застрахованы, и цена страховки включена в тариф). Вопрос сохранности ТС также находится в зоне ответственности каршеринговой компании.

Простейшие расчёты показывают, что только прямые затраты на владение личным автомобилем со средней стоимостью в 2019 году в 1,5 млн руб. и годовым пробегом 15 тыс. км составляют 137,5 тыс. руб. в год. Здесь учтены затраты на бензин (расход 10 л на 100 км, что составляет 69 тыс. руб.), стоимость ОСАГО (5,5 тыс. руб.), техобслуживание (25 тыс. руб.), затраты на покупку резины (4 тыс. руб.), стоимость мойки и приобретения жидкости омывателя стёкол (24 тыс. руб.), транспортный налог (10 тыс. руб.). Для автомобиля каршеринга (далее CS-автомобиль) эти затраты даже при тарифе 10 руб./км соответствуют 35 тыс. км пробега. Если учесть ещё и бесплатную парковку, выгода будет ещё выше. А как известно, есть ещё и косвенные потери: автомобиль за 3 года эксплуатации теряет 30 % своей стоимости.

2. Сокращение эмиссии CO_2 (основная причина глобального потепления) благоприятно должно отразиться на экологии. Оценка — в результате развития каршеринга будет достигнуто снижение выбросов CO_2 от использования автомобилей на 10 %.



Популярность сервиса в Москве растёт гигантскими темпами. За последние годы она выросла втрое и количество CS-автомобилей приближается к 30 тыс.

Каковы же перспективы сервиса в Санкт-Петербурге? По оценкам операторов (2018 г.), ёмкость рынка каршеринга в Северной столице составляет: Youdrive (7000), Делимобиль (3000), COLESA.COM (3500) [3].

Однако понятно, что автопарк не должен простаивать, и не должно быть перекосов в сторону необоснованного увеличения количества CS-авто, что приводит к тому, что зона платной парковки в Москве на треть занята именно каршеринговыми автомобилями. Встаёт вопрос: какова же реальная потребность города в данном сервисе в нынешних условиях? Ответ на него можно попытаться получить на основе транспортного моделирования.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Данная статья посвящена вопросам развития каршеринга в Санкт-Петербурге. В качестве объекта исследования выбран один из районов города (Петродворцовый). С учётом того, что оценки потребного количества CS-автомобилей и интенсивности их аренды у разных операторов расходятся, предлагается применить транспортное моделирование. Таким образом, для получения количественных оценок требуется разработать модель транспортного спроса для выбранного района в специализированной программе с учётом системы каршеринга. С помощью моделирования возможно оценить динамику и составить прогноз изменения структуры транспортных затрат с учётом каршеринга, а именно, снижение транспортного спроса на индивидуальный транспорт (ИТ). Результаты моделирования необходимо затем сравнить с данными реальной аренды CS-автомобилей в выбранном районе.

УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ КАРШЕРИНГА

На сегодня в России система каршеринга далека от совершенства. В частности, участились случаи дорожно-транспортных происшествий (ДТП) с CS-автомобилями (более 200 ДТП с начала 2019 года), среди пользователей которых зачастую оказываются те, кто не имеет постоянной практи-

ки вождения или, хуже того, нетрезвые, лишённые прав водители. Тогда автомобиль превращается в источник опасности. Для борьбы с этим в ГИБДД рассматривают меры идентификации водителей и их состояния за рулём CS-автомобилей. Кроме того, обсуждается вопрос блокирования использования сервиса для нарушителей правил дорожного движения.

Значимой проблемой является отсутствие нормативной документации для осуществления деятельности компаний. На данный момент только в Москве имеются принятые на уровне города документы, регулирующие действия сервиса и надзор за ним со стороны государства.

Другой проблемой является отсутствие единых реестров, в которых бы содержались данные обо всех компаниях, предоставляющих услуги каршеринга, и их абонентах. Данная централизация упростит регистрацию водителей, поскольку в таком случае достаточно будет зарегистрироваться всего лишь раз, а не делать это в каждой компании по отдельности, соответственно будет возможность выбирать автомобиль, который находится ближе.

Санкт-Петербург по парку CS-автомобилей занимает второе место после Москвы. На март 2019 года в городе работали семь каршеринговых компаний с парком, насчитывавшим 3515 автомобилей [4]. Данная цифра мало отражается на общей ситуации в городе, в котором в 2017 году насчитывалось более 2,4 млн легковых автомобилей [5]. Важным показателем является количество жителей на один CS-автомобиль. Для Петербурга на данный момент он составляет $5,38 \text{ млн} / 3515 = 1530$ жителей.

Властями Санкт-Петербурга взят курс на деавтомобилизацию города, разгрузку магистралей и улучшение экологической обстановки в мегаполисе. Несмотря на перспективность каршеринга и все преимущества сервиса, на данный момент существует ряд проблем в сфере краткосрочной аренды автомобилей.

Для развития каршеринга в Санкт-Петербурге первостепенным является вопрос платной парковки. В настоящий момент зона платной парковки незначительна и функционирует неэффективно. Как только эта зона начнёт расширяться, заин-



Рис. 1. Количество CS-автомобилей (прогноз автора на 2019 год на основе обработки статистических данных 2015–2018 годов).

тересованность в каршеринге значительно вырастет, поскольку сервис предполагает введение бесплатной парковки для CS-автомобилей, как это сделано в Москве. Кроме того, в городе действует законодательство, косвенно касающееся и каршеринга, но при этом напрямую влияющее на транспортную обстановку города. С 1 июля 2020 года коммерческие маршрутные такси прекращают работу, что должно в перспективе переориентировать часть пассажиров на каршеринг, а остальных — на общественный транспорт (ОТ). Пока же операторам в Санкт-Петербурге нет смысла развивать этот сервис без интенсивной поддержки властей.

С учётом данных статистики изменения автопарка в Москве и Петербурге с 2015 по 2018 годы [6; 7] на рис. 1 представлены соответствующие тренды. Следует оговориться, что прогнозы в данной области из-за возможного изменения экономических условий нельзя рассматривать как полностью достоверные. Можно лишь предположить, что при реализации в Петербурге условий, подобных существующим в Москве, тенденция развития сервиса будет стремиться, учитывая соотношение населения городов, к достижению по крайней мере половинных значений московских показателей. По планам московских властей на каждую машину будет приходиться примерно 500 жителей, и Москва догонит по этому показателю мировых

лидеров: Торонто (498), Мадрид (500), Штутгарт (515) и Нью-Йорк (525) [7].

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТРАТ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Как было отмечено, существует задача оценки транспортного спроса с учётом каршеринга на основе моделирования. Соответствующие средства имеются в программе PTV Visum (18-й версии) [8]. Полученные в процессе моделирования оценки могут быть выполнены не только для каршеринга, но и для системы велопроката (байкшеринга).

Количество автомобилей в районе города является динамическим показателем и меняется в зависимости от времени суток и дня недели. Некоторые ТС могут быть в ремонте или проходить техническое обслуживание. Поездки осуществляются как в пределах районов, так и за их пределами. Их количество определяется такими факторами, как срочность поездки, дата и время, транспортная ситуация на дороге, наличие альтернативных путей и маршрутов, самочувствие, труднодоступность места назначения и т.п. Поэтому возможно оперировать только взвешенными значениями.

Модель с учётом ограничений при планировании исследования охватывает не весь Петродворцовый район Санкт-Петербурга, а только муниципальное об-



Количество: 30	Name	€	дошкольники	места_ВУЗ	места_сад	места_школа	население	рабочие_места	студенты	сфера_услуг	трудящиеся	школьники
1	Больница	0	0	0	0	0	0	2000	0	800	0	800
2	Парк колониистский	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Жилый район (529)	100	0	1000	0	0	2890	300	350	200	1900	560
4	Парк (Фортаны)	0	0	0	0	0	0	1250	0	900	0	0
5	Ракета	90	0	0	0	0	450	600	50	200	300	0
6	Институт морской	0	2300	0	2300	2300	10	0	0	150	0	0
7	Парк	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Семёра	1000	0	0	0	0	10500	800	350	400	7800	280
9	Студгородок, СПбГУ	0	5500	0	5500	5500	540	0	0	230	150	0
10	Школы (411,419)	200	0	1000	0	0	1540	780	20	250	1200	0
11	Школа (567)	100	0	0	0	0	1500	220	220	100	950	560
12	Сад 33	50	0	0	0	0	830	115	70	70	500	280
13	Сад 16	40	0	0	0	0	1590	120	250	90	590	280
14	Госпиталь	20	0	0	0	0	450	450	48	240	100	0
15	Рынок	5	0	0	0	0	120	355	2	320	100	0
16	Школа 671	0	0	500	0	0	0	50	0	160	0	0
17	Детский сад 1	10	0	0	0	0	830	650	150	30	600	280
18	Сфера услуг (жаралекин,брызна)	0	0	0	0	0	0	1000	0	1400	270	0
19	школа 415	300	0	500	0	0	850	120	200	90	300	0
20	аврора	400	0	0	0	0	1210	230	40	280	500	0
21	школа 416	160	0	500	0	0	2100	370	340	50	1500	0
22	каскад	170	0	0	0	0	2770	980	300	635	2000	280
23	Жилый район (сад 29)	100	0	0	0	0	2800	760	400	440	2000	280
24	Жилый район (полушка)	125	0	0	0	0	4200	710	550	700	800	0
25	Жилый район(школа 412)	70	0	500	0	0	3510	570	850	230	500	0
26	Жилый район	50	0	0	0	0	1500	490	150	290	500	0
27	школа 542	10	0	500	0	0	1310	400	150	700	900	0
28	Санаторий	0	0	0	0	0	0	390	0	245	0	0
29	парк АНГП	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	парк АНГП	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 2. Фрагмент таблицы спроса групп населения.

разование город Петергоф. Другим упрощением является учёт поездок только внутри Петергофа, то есть без поездок в Санкт-Петербург и обратно. При этом очевидно, что рабочие места в центральных районах города являются естественным центром притяжения для жителей отдалённых районов. Сам Петергоф – также центр притяжения для посещений с экскурсионными целями. Эти факторы могут быть уточнены при построении более полной модели.

Вместе с тем принятое на данном этапе упрощение модели частично обоснованно: большая часть рабочих мест и достопримечательностей сосредоточена в отдалённых от центра районах города. Например, если среднее время регулярной поездки по Санкт-Петербургу составляет 40 мин, то в Петродворцовом районе, по опросам жителей, – около 15 мин. Кроме того, от съезда с Кольцевой автомобильной дороги (КАД) со стороны Санкт-Петербурга и до въезда в Петергоф образуются транспортные заторы, которые делают каршеринговый сервис недостаточно удобным для поездок в центральные районы.

Муниципальное образование город Петергоф входит в состав г. Санкт-Петербурга и включает в себя микрорайоны Старый Петергоф, Новый Петергоф, Красные Зори и Университет. Данный район является особенным, учитывая его музейный потенциал. На-

селение Петергофа на 2018 год составило 82940 человек [9].

Для построения модели были использованы следующие данные: количество мест в детских садах (6100), школах (9600), численность детей дошкольного возраста (5600), рабочих мест на предприятиях (56300) и в сфере услуг (13250), численность занятых (68800), школьников (8800) [9].

При создании модели была использована зона покрытия каршеринга, обозначенная в интерфейсе соответствующего приложения оператора «Делимобиль», пока единственного оператора, работающего в этом районе. Исходными данными для создания модели транспортного спроса стали общая численность населения Петергофа, распределение населения по группам, корреспонденции, автобусные маршруты и связанная с ними транспортная инфраструктура.

В основе расчёта транспортного спроса лежит стандартная четырёхшаговая модель (например, [10, с. 26]). В модели, заложенной в программу Visum, эти шаги следующие: генерация спроса (Trip Generation), распределение спроса (Trip Distribution), выбор режима (Mode Choice), перераспределение (Traffic Assignment). Первые два этапа представляют собой подготовку к созданию модели.

Начинается построение модели с внесения элементов улично-дорожной сети, таких, как узлы, отрезки, районы, примы-

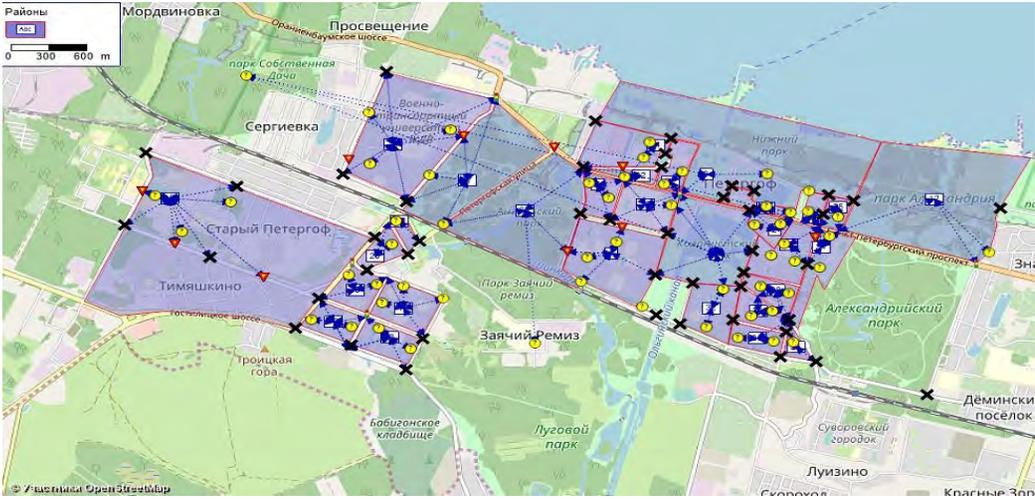


Рис. 3. Районы с узлами участков дорожной сети.

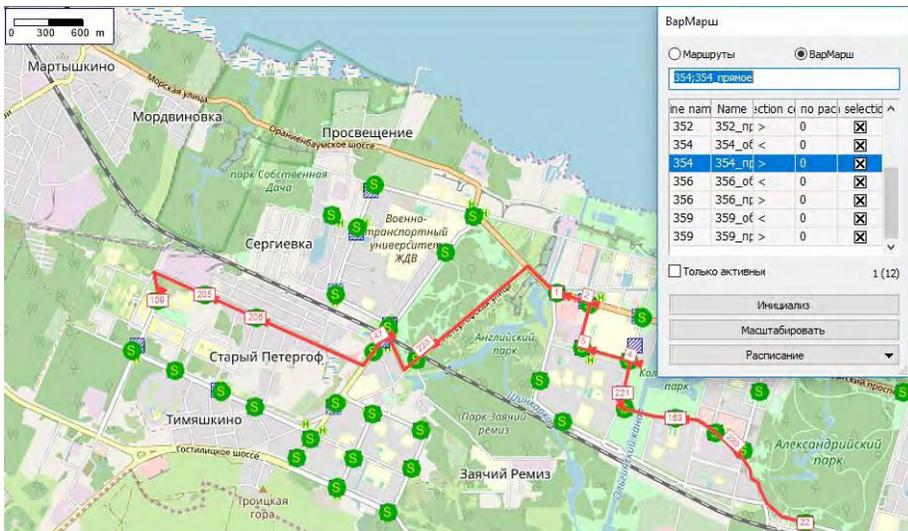


Рис. 4. Фрагмент карты с остановками и одним из маршрутов ОТ.

кания, остановки (пункт остановки, зона остановки, остановка), автобусные маршруты. На рис. 2 приведён фрагмент матрицы, определяющей спрос групп населения на транспортные услуги.

Примыкания связывают районы с улично-дорожной сетью города и представляют собой виртуальные отрезки. Одни примыкания направлены на автомобильный транспорт, за счёт чего определяется время на выезд автомобиля из района на улицы города; по ним также могут двигаться пешеходы. Другие примыкания относятся исключительно к пешеходам и соединены с узлами, к которым прикреплены остановки. После того как все рассмотренные

элементы построены и созданы все маршруты ОТ, необходимо рассчитать транспортный спрос. Фрагменты вида районов с узлами и зонами остановок, остановками ОТ и одним из маршрутов изображены соответственно на рис. 3, 4.

Далее выполняются процедуры генерации транспортного движения, распределения транспортного движения по районам, выбора транспорта (для Петергофа было приняты значения 40 % поездок ИТ и 60 % – на ОТ), перераспределения транспортного движения. В ходе последнего этапа рассчитывается интенсивность транспортных потоков. Приведённое выше распределение основано на данных иссле-



довательского центра портала «Superjob», полученных по результатам опросов в Санкт-Петербурге, которые показали, что 10 % населения добираются до работы пешком, 35 % – на ИТ, 55 % – на ОТ.

При создании процедуры выбора режима транспорта (третий шаг четырёхшаговой модели) используется модель логистической регрессии (*logit*-функция, тогда как на втором этапе используется комбинированное экспоненциальное распределение). Выбранные значения параметров кривых являются стандартными для моделей транспортного распределения и выбора режима в PTV Visum для городов и районов с малой численностью населения при исследовании транспортного спроса.

Результатами расчёта транспортного спроса являются матрицы межрайонных корреспонденций с полученными временными значениями, итоговые матрицы по ИТ и ОТ. Общий суммарный спрос на ИТ составляет в результате 41226, а для ОТ – 103598 мин/год.

Данная модель является только подготовительной, а также образцом для сравнения с моделью, в которую далее был добавлен каршеринговый сервис. Не будем останавливаться на технологии введения в модель сервиса, поскольку данная технология описана в соответствующем примере из дистрибутива программы Visum.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ В VISUM

По данным [11] на март 2019 средняя продолжительность аренды CS-автомобилей по Петербургу составляет порядка 40 минут, а средний чек – около 300 рублей. (Для сравнения тариф такси (эконом), если поездка составит от 1 часа до 2,5 часов – 15 руб./мин [12]).

Тариф оператора «Делимобиль» – 7 руб./мин, а после достижения дальности поездки больше 120 км применяется тариф 8 руб./км [13]. Таким образом, при поездке на 10 км за полчаса при средней скорости 30 км/час, с учётом пробок по городу можно потратить 210 руб., а в час, соответственно 420 руб.

Вместе с тем поездка на ИТ с учётом страховки соответствует тарифу 11 руб. за 1 км. Перемещение по городу на расстояние 10 км при скорости 30 км/час с учё-

том пробок, как показано выше, занимает примерно полчаса. Таким образом, цена получаса составляет 110 руб. (в час – 220 руб.). Однако, если учитывать все платежи, связанные с чистой стоимостью владения ТС, цена одной минуты поездки может быть оценена в 19 руб., если её время занимает один час [12]. С учётом других составляющих стоимости владения личным автомобилем стоимость минуты гораздо выше.

Для поездок внутри Петергофа для моделирования рассмотрим два случая. Тариф «Делимобиль» – 7 руб./мин. Чтобы составить конкуренцию личному ИТ, тариф заведомо должен быть ниже, чем затраты на ИТ, то есть, не 220 руб., а, например, 180 руб./час (3 руб./мин – тариф в период акций операторов). Стоимость поездок на ОТ установлена в виде тарифа «по зонам» в 40 руб.

Реальным вариантом, существующим в Петергофе, является случай «свободно плавающих автомобилей» (*free floating*), не привязанных к станции проката. Поскольку процедура распределения выполняется в процессе имитации, результаты имеют случайную природу. Однако, как следует из приведённых графиков, наблюдаются и неслучайные тенденции. В процессе моделирования для ИТ использовалось равномерное распределение, для ОТ – распределение по расписанию «с обучающей процедурой».

Исследуются повременные затраты для ИТ и ОТ в зависимости от изменения числа CS-автомобилей. Результаты моделирования для случая 7 руб./мин приведены на рис. 5.

Минимальное значение числа автомобилей в этом режиме строго больше 0. При изменении числа CS-автомобилей в сети наблюдаются максимум затрат при поездках на ИТ при 20 CS-автомобилях и, соответственно, минимум – при поездках в ОТ (к которому по версии разработчиков и отнесён каршеринг). Можно заключить, что 20 автомобилей – критическое число для данного района в текущих условиях, которое соответствует наибольшей конкуренции CS-автомобилей с ИТ.

Зависимость при тарифе 7 руб./мин от изменения интенсивности аренды, то есть от числа арендованных автомобилей в час,

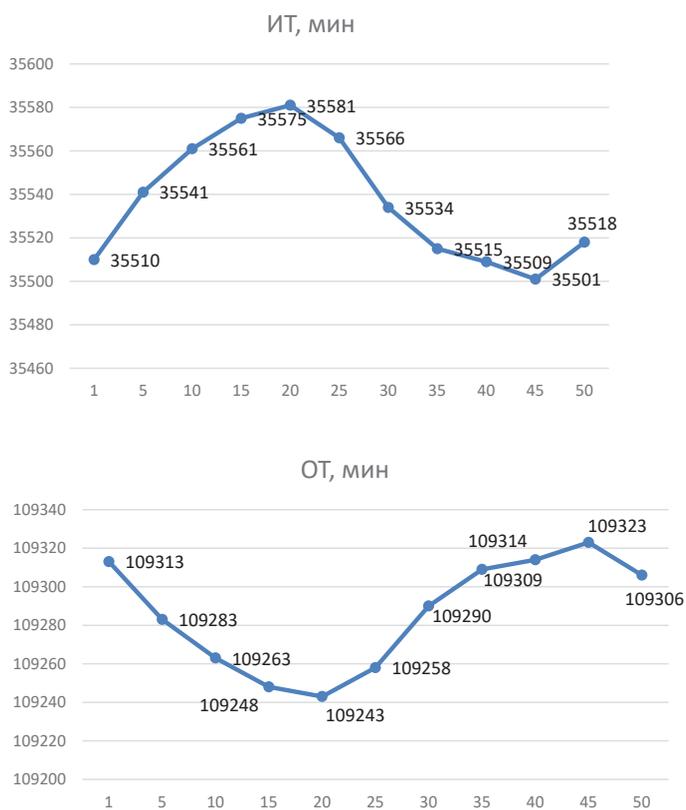


Рис. 5. Повременные затраты для ИТ и ОТ в зависимости от числа CS-автомобилей.

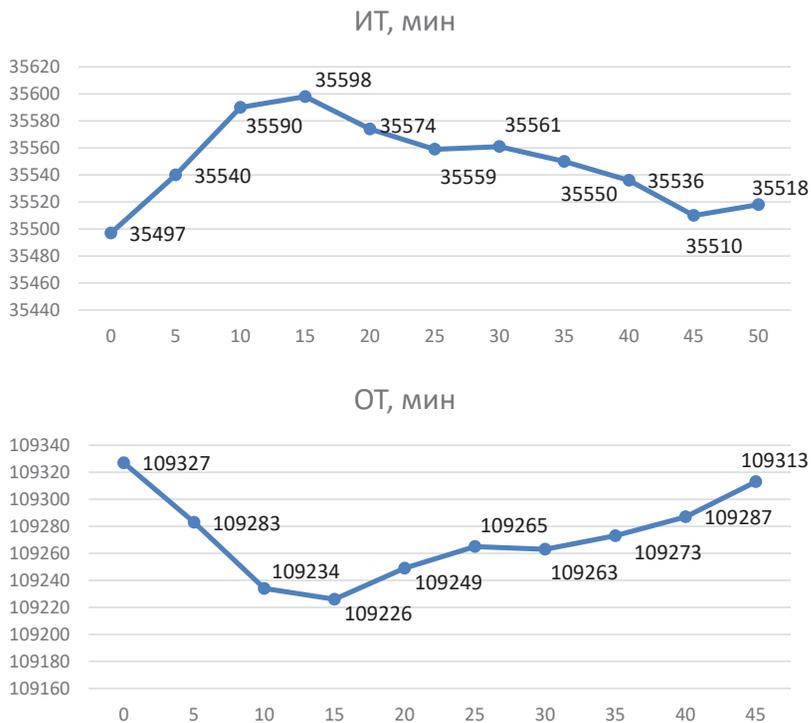


Рис. 6. Повременные затраты в зависимости от интенсивности аренды для ИТ и ОТ.



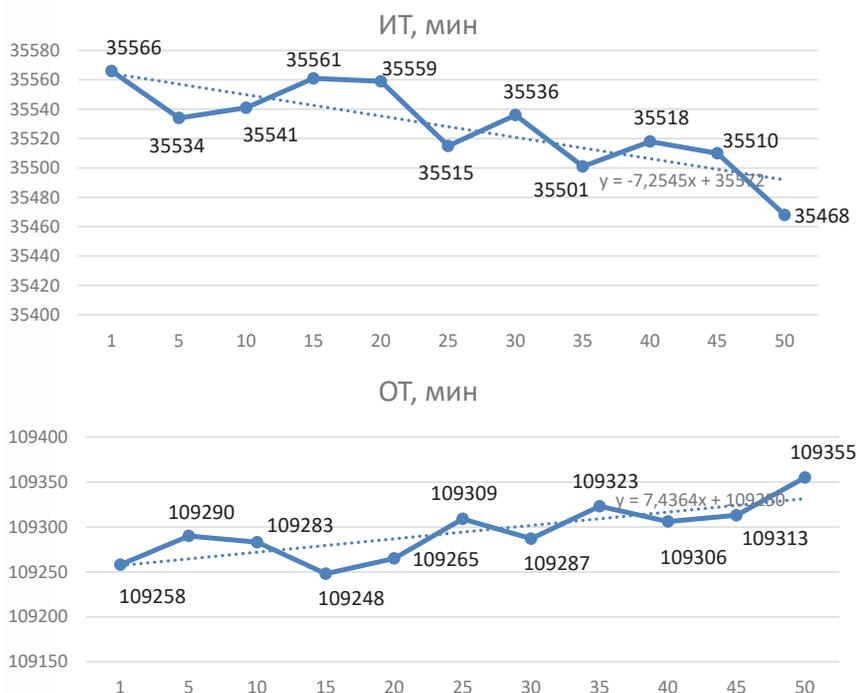


Рис. 7. Тенденции зависимостей повременных затрат для ИТ и ОТ в зависимости от числа CS-автомобилей.

при фиксированном их количестве 20 шт. приведена на рис. 6.

Наблюдаются тенденции к снижению затрат на ИТ с ростом интенсивности (пик приходится на 15 CS-автомобилей в сети, затратная нагрузка на ИТ наибольшая) и, соответственно, к повышению затрат на пользование ОТ. Можно предположить, что при интенсивности аренды в 15 автомобилей в час конкуренция с ИТ наибольшая.

Наконец, рассмотрим гипотетический случай заведомо низкого тарифа – 180 руб./час. Результаты моделирования приведены на рис. 7.

С ростом числа CS-автомобилей наблюдается тенденция к снижению повременных затрат на пользование ИТ и увеличению затрат на поездки в ОТ (поскольку каршеринг входит в систему ОТ). Кроме того, растёт процент граждан, ранее пользовавшихся другими видами ОТ, которые также теперь могут воспользоваться каршерингом. Опять же, чтобы добраться до стоянки CS-автомобилей, может потребоваться традиционный ОТ. В результате расчётов программа формирует матрицы корреспонденций и суммарный спрос на

ИТ и ОТ. Если взять в расчёт затраты ИТ при критическом числе CS-автомобилей 20 шт. (рис. 5), то возможный выигрыш в затратах на ИТ относительно системы без каршеринга определим как $(41226 - 35580)/41226 \cdot 100\% = 14\%$.

АКТИВНОСТЬ СЕРВИСА КАРШЕРИНГА ПО Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

В таблице 1 приведён список районов с данными по численности населения, а также числу CS-автомобилей. Ввиду отсутствия информации о занятых автомобилях, статистику в отношении которых, возможно, отслеживают службы компаний, в данном примере приходится ориентироваться на карту свободных CS-автомобилей всех операторов города [14].

Фактическое число свободных CS-автомобилей в городе по данным на два часа ночи в будни составляет примерно 1173 автомобиля. По-видимому, остальные из 3515, входящих в автопарк, или не на ходу, или арендуются круглосуточно. Утром в будний день в десять утра зафиксировано 979 свободных автомобилей. Следует ого-

Таблица 1

Количество арендованных автомобилей по районам города

№	Район	Число жителей	Свободных CS-автомобилей на 2:00 часа	Свободных CS-автомобилей на 10:00 час	- уехали, + приехали	Всего арендовано CS-автомобилей (утро)	Соотношение числа CS-автомобилей и приведённой численности жителей ¹	Соотношение числа арендованных CS-автомобилей и приведённой численности жителей ²
1	Курортный	78131	12	8	-4	4	51	8
2	Выборгский	518709	27	61	34	34	339	55
3	Приморский	568516	121	103	-18	18	371	60
4	Кронштадтский	44321	12	2	-10	10	29	5
5	Василеостровский	208713	38	48	10	10	136	22
6	Петроградский	131356	8	26	18	18	86	14
7	Калининский	533597	256	142	-114	114	348	57
8	Красногвардейский	357498	30	50	20	20	233	38
9	Адмиралтейский	161911	18	25	7	7	106	17
10	Центральный	216939	3	18	15	15	142	23
11	Кировский	336248	76	109	33	33	220	36
12	Московский	354525	127	124	-3	3	231	38
13	Фрунзенский	394972	27	79	52	52	258	42
14	Невский	527861	234	121	-113	113	345	56
15	Петродворцовый	143154	18	2	-16	16	93	15
16	Красносельский	397609	115	50	-65	65	260	42
17	Пушкинский	217983	34	4	-30	30	142	23
18	Колпинский	191847	17	7	-10	10	125	20
ИТОГО:		5383890	1173	979		572	3515	571

¹ Предпоследний столбец таблицы – отношение числа жителей района к общему числу жителей города, умноженное на общее число CS-автомобилей по данным операторов – показывает, сколько автомобилей могло бы приходиться на этот район города. Например, для Курортного района $78131/5383890 \cdot 3515 = 51$.

² Последний столбец – то же отношение, но применительно к количеству реально арендованных автомобилей. Например, для Курортного района $78131/5383890 \cdot 572 = 8$.

вориться, что это данные, касающиеся только утренних поездок на работу, которые, конечно, не охватывают всех возможных за день.

В Петродворцовом районе по состоянию на два часа ночи было найдено 18 свободных CS-автомобилей, в десять часов утра, после того, как часть машин уехала, а другая часть приехала, осталось две свободные машины, то есть 16 машин было арендовано, что совпадает с соотношением, рассчитанным в последнем столбце табл. 1. Это близко к результатам моделирования при текущих тарифах оператора (20 CS-автомобилей в районе, которые

арендуются с интенсивностью 15 авто/час). Также из таблицы видно, в какие районы и сколько приезжает CS-автомобилей с рабочими целями и сколько и из каких районов уезжает. Из таблицы также видно, что на весь Петродворцовый район должно приходиться $143154/1530 = 93$ CS-автомобилей. Доля реальной аренды в отношении данной расчётной величины составляет $16/93 = 0,17$. Для сравнения в Невском районе доля примерно такая же: $56/345 = 0,16$. В Петергофе с учётом числа жителей должно находиться в среднем $82940/1530 = 54$ CS-автомобилей, по факту – не более 20 автомашин. Таким образом, можно оце-



нить активность каршеринга в Петергофе относительно среднего значения по городу с коэффициентом $16/54 = 0,3$. Приведённые выше оценки и коэффициенты, конечно, не претендуют на полноценное статистическое исследование, но тенденции показывают.

Самыми перспективными районами для появления новых сервисов являются районы на границах города, где имеется потенциальный спрос на поездки в направлении крупных транспортно-пересадочных узлов, например, из Петродворцового в Красносельский или Кировский, где пользователь сможет пересесть на ОТ, в особенности на метро, и продолжить путь до места назначения.

Фактическое количество CS-автомобилей в Санкт-Петербурге находится в пределах расчётных величин, указанных в табл. 1, что в целом говорит о достаточной обеспеченности города услугами каршеринга. Однако это не значит, что количество сдаваемых в аренду на условиях каршеринга автомобилей не будет увеличиваться, поскольку каждая компания стремится занять ключевое место в городе, повышая уровень сервиса. Одним из средств для этого является обновление транспортных средств и моделей автомобилей и постепенное изъятие старых моделей. Также новые и малые компании начинают деятельность сразу в нескольких районах города и стремятся к увеличению зоны обслуживания.

Выводы

Определены условия, а также представлены прогнозы развития каршеринга в Санкт-Петербурге. Выполнено гравитационное моделирование для района Петродворцовый, в результате которого отмечен положительный эффект существующей системы каршеринга на развитие транспортной системы, даны количественные оценки числа CS-автомобилей и интенсивности их аренды, в том числе с точки зрения конкуренции с ИТ. Найденные оценки согласуются с реальными данными по аренде автомобилей.

Эффект от внедрения интеллектуальных транспортных систем в части сокращения времени в пути по оценкам Росавтодора может составить 35–40 % [15]. Рассчи-

танный в результате моделирования выигрыш от работы каршеринга, приводящий к уменьшению времени поездок на 14 %, свидетельствует о том, что данный и подобные ему сервисы являются существенным дополнением к создаваемым системам в плане повышения транспортной доступности для населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сколько денег стоят пробки на дорогах? [Электронный ресурс]: <http://www.ljpoisk.ru/archive/4473433.html>. Доступ 27.11.2019.
2. Стоимость владения автомобилем в РФ оказалась выше, чем в Англии. [Электронный ресурс]: <https://quto.ru/journal/news/stoimost-vladeniya-avtomobilem-v-rf-okazalas-vyshe-chem-v-anglii-25-12-2019.htm>. Доступ 27.11.2019.
3. Каршеринг в Санкт-Петербурге: перспективы, планы и советы конкурентам. [Электронный ресурс]: <https://carshering.club/karshering-v-sankt-peterburge-perspek/>. Доступ 27.11.2019.
4. Новости каршеринга 2019. [Электронный ресурс]: <https://carshering-blog.ru/karshering-v-sankt-peterburge/>. Доступ 27.11.2019.
5. Рост зарегистрированных в Петербурге в 2017 году машин побил семилетний рекорд. [Электронный ресурс]: https://78.ru/news/2017-12-28/gost-zaregistrirovannih_v_peterburge_v_2017_godu_mashin_pobil_semiletanii_rekord. Доступ 27.11.2019.
6. Похоже, московский каршеринг стал мировым лидером по автопарку. Почти 24 тысячи машин. [Электронный ресурс]: <https://truesharing.ru/tp/19274/>. Доступ 27.11.2019.
7. РБК. Как рынок каршеринга в Москве оказался самым быстрорастущим. [Электронный ресурс]: https://www.rbc.ru/technology_and_media/27/09/2018/5bab94a69a79474169e307c1. Доступ 27.11.2019.
8. Официальный сайт компании А + С «Транс-проект». [Электронный ресурс]: http://apluss.ru/activities/programmnye_produkty. Доступ 27.11.2019.
9. Федеральная служба государственной статистики. Паспорт муниципального образования. [Электронный ресурс]: http://www.gks.ru/scripts/db_inet2/passport/table.aspx?opt=403950002018. Доступ 27.11.2019.
10. Якимов М. Р. Транспортное планирование: Создание транспортных моделей городов: Монография. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
11. Без льгот. Почему каршеринг в Петербурге развивается медленнее, чем в Москве. [Электронный ресурс]: https://www.dp.ru/a/2018/11/16/Bez_lgot_Pochemu_karsheri. Доступ 27.11.2019.
12. Сравниваем каршеринг и такси: что выгоднее, комфортнее. [Электронный ресурс]: <https://passazhiram.ru/avtomobili/karshering/ili-taksi.html>. Доступ 27.11.2019.
13. Официальный сайт оператора «Делимобиль». [Электронный ресурс]: <https://delimobil.ru/spb/index>. Доступ 27.11.2019.
14. Где лучше каршеринг. Карта свободных автомобилей. [Электронный ресурс]: <https://carsharing.gde-luchshe.ru/map>. Доступ 27.11.2019.
15. Ожидаемые результаты внедрения интеллектуальных транспортных систем. [Электронный ресурс]: https://studwood.ru/916212/ekonomika/ozhidaemye_rezultaty_vnedreniya_intellektualnyh_transportnyh_sistem. Доступ 27.11.2019.